This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

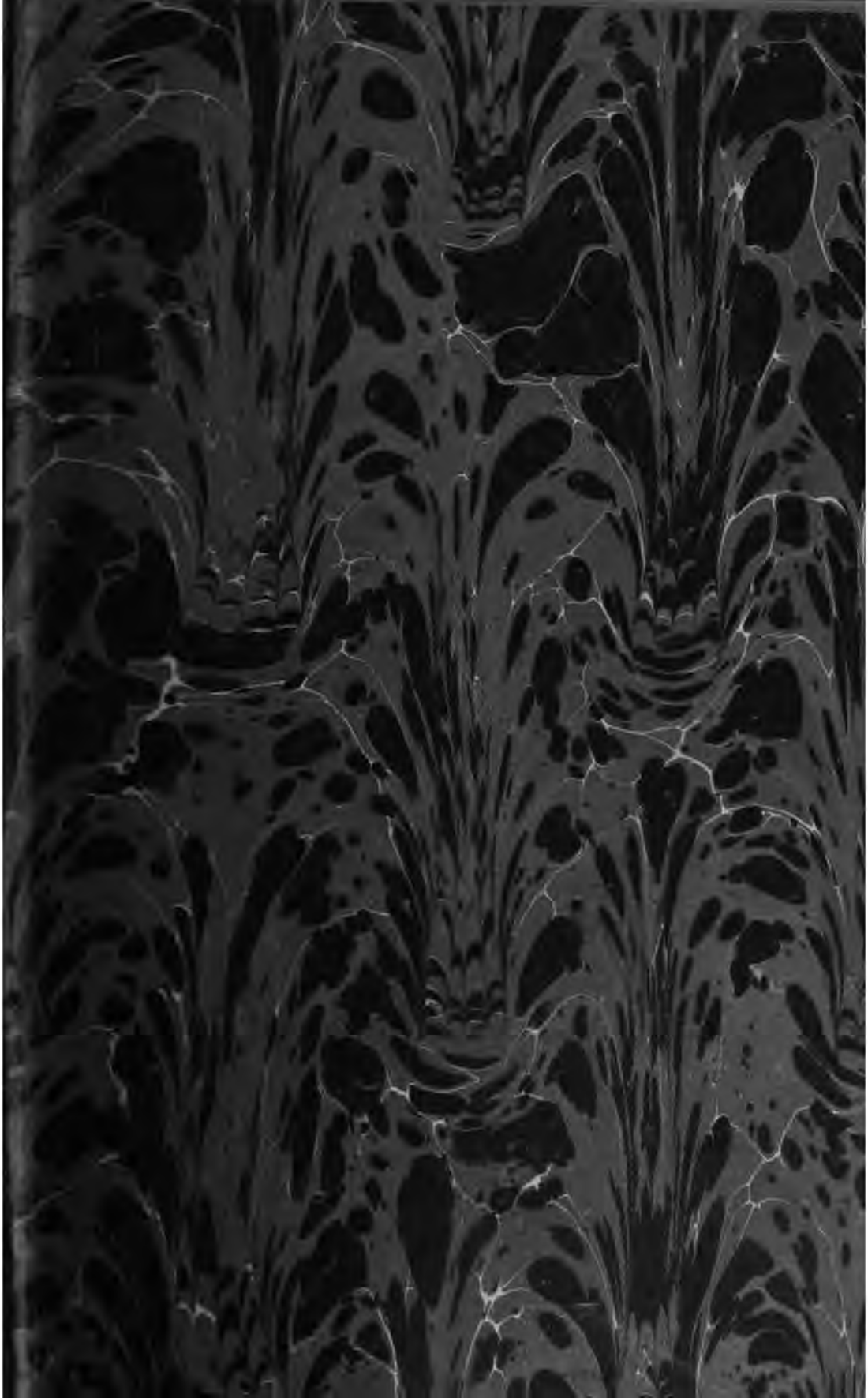
Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
B 4 575 709

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

BIOLOGY
LIBRARY
G

Class



Lehrbuch

der

ALLGEMEINEN PHYSIOLOGIE.

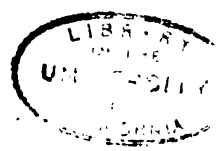
Eine Einführung
in das Studium der Naturwissenschaften
und der Medizin

von

Dr. J. Rosenthal,

o. ö. Professor der Physiologie an der Universität Erlangen.

Mit 137 Textabbildungen.



LEIPZIG
VERLAG VON ARTHUR GEORGI
1901.

QP31
R6
BIOLOGY
LIBRARY
G

Das Recht der Übersetzung vorbehalten.

Druck von C. Grumbach in Leipzig.

M. K. W.

Vorwort.

Einzelne Abschnitte des vorliegenden Buches sind schon vor mehr als zwanzig Jahren niedergeschrieben worden. Dem Ganzen liegen Vorlesungen zu Grunde, welche ich an hiesiger Universität zu verschiedenen Zeiten unter den Titeln: „Einleitung in das Studium der Physiologie", „Die Grundprinzipien der Naturwissenschaften", „Der Stoffwechsel der Lebewesen" gehalten habe. Ich nahm das Geschriebene von Zeit zu Zeit wieder vor, fügte Neues hinzu und legte es wieder bei Seite. Zuletzt entschloss ich mich, Alles einer vollständigen Umarbeitung zu unterwerfen und es zum Abschluss zu bringen. Dabei hat mich Herr Privatdozent Dr. Oskar Schulz wesentlich unterstützt, indem er die Manuskripte der Durchsicht unterzog und auf meinen Wunsch den Schluss des neunten und das zehnte Kapitel, deren Fassung dem jetzigen Stand unsres Wissens nicht mehr entsprach, nach einem zwischen uns verabredeten Plan neu bearbeitete. Für diese Mitwirkung bin ich ihm zu herzlichem Dank verpflichtet.

Es herrscht, soviel ich sehe, noch keine Übereinstimmung darüber, was den Inhalt der allgemeinen Physiologie ausmacht. Wie ich die Aufgabe fasse, darüber giebt das erste Kapitel sowie der ganze Inhalt des Buches Aufschluss. Ich lege nicht den Hauptnachdruck auf theoretische Spekulationen über „das Wesen des Lebens". Ich versuche vielmehr dieses Wesen anschaulich in seinen Äußerungen darzustellen. Das konnte nur an passend ausgewählten Beispielen aus der Tier- und Pflanzenwelt geschehen. So war ich genötigt, manches vorzubringen, was in den Lehrbüchern der speziellen Physiologie, der Zoologie und Botanik behandelt zu werden pflegt, was aber hier im Rahmen des Ganzen erst seine physiologische Beleuchtung erhält. Dazu fügte ich dasjenige aus Physik und Chemie, was mir zur richtigen Auffassung der physiologischen Vorgänge notwendig erschien. Überall war ich bemüht, mich an das zu halten, was als anerkannte Wahrheit in der Wissenschaft gelten kann. Wo das nicht möglich war, habe ich immer ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht.

Die ersten Kapitel werden vielleicht Manchem etwas zu breit ausgeführt erscheinen. Ich glaube jedoch, dass die Grundlage, auf welcher sich eine Wissenschaft aufbauen soll, so fest und sicher, als nur immer möglich, sein muss. Es geht nicht an, die betreffenden Punkte nur kurz anzudeuten und auf die Lehrbücher der einzelnen Wissenschaften, welche dabei in Betracht kommen, zu verweisen. Die Physiologie hat nicht nur für den Mediziner, sondern auch für viele Studierende anderer Fächer Bedeutung; sie ist für jeden Gebildeten anziehend. Dem botanisch oder zoologisch Vorgebildeten wird das Verständnis physikalischer oder chemischer Vorgänge vielleicht Schwierigkeiten bereiten, dem in den letzteren Wissenschaften Bewanderten wird vielleicht die morphologische Anschauung fehlen, welche bei der Besprechung physiologischer Vorgänge vorausgesetzt werden muss. Wer über Physiologie unterrichten will, ist daher gezwungen, den Boden, auf dem er arbeiten soll, vorher selbst zu ebnen und so zu befestigen, dass er sein Lehrgebäude sicher auf ihm errichten kann. Er hat nicht die Absicht, die Unterweisung in Botanik, Zoologie, Physik und Chemie zu ersetzen, aber er kann sie auch nicht in allen für ihn in Betracht kommenden Einzelheiten voraussetzen. Daher muss er das, was er von jenen Wissenschaften braucht, selbst in der für seine Zwecke geeigneten Weise vortragen. Der Unterricht in diesen Fachwissenschaften kann weder auf Gymnasien noch auf Hochschulen Alles berücksichtigen, was zur Vorbereitung auf das Studium der Lebensvorgänge notwendig ist. Ebensowenig können das die gangbaren Lehrbücher, da sie allgemeinere Ziele im Auge haben. Es scheint mir also eine der wichtigsten Aufgaben der allgemeinen Physiologie zu sein, jene Lücken auszufüllen. Indem sie dies in möglichst systematischer Weise thut, leistet sie zugleich den wichtigsten Dienst einer Einführung in das Studium der Naturwissenschaften überhaupt.

Die Physiologie ist wegen ihrer, wenn ich so sagen darf, centralen Stellung, d. h. weil sie zu der Mehrzahl der übrigen Naturwissenschaften Beziehungen hat, dazu berufen, in dem naturwissenschaftlichen Unterricht einen breiteren Raum einzunehmen als bisher. Keine andere Wissenschaft ist in demselben Maße geeignet, den Zusammenhang aller Naturerscheinungen untereinander zur Anschauung zu bringen. Es ist deshalb mein Wunsch, in diesem Buche Allen, welche in irgend einer Weise mit dem Studium der Naturwissenschaften sich befassen, ein Mittel in die Hand zu geben, sich mit den Grunderscheinungen des Lebens vertraut zu machen. Wenn solchen Lesern, je nach ihrer Vorbildung, das eine oder das andere der ersten Kapitel Bekanntes wiederholt, so werden vielleicht

Andre gerade für diese Belehrung wegen des abweichenden Ganges ihrer bisherigen Studien um so dankbarer sein.

Wegen dieser Vielseitigkeit der zu behandelnden Gegenstände schien es mir durchaus notwendig zu sein, die Darstellung durchweg elementar zu halten, aber trotzdem die wissenschaftliche Schärfe nicht Schaden leiden zu lassen. Der grosse Physiologe F. C. Donders schrieb mir einmal gelegentlich eines Referats über eine seiner Untersuchungen, die Bedingungen für ein gutes Referat ließen sich dahin zusammenfassen, dass es kurz, klar und richtig sein soll. Diesen drei Anforderungen bei dem vorliegenden Bericht über den jetzigen Stand unseres Wissens von den Lebenserscheinungen zu genügen, war ich aufrichtig bestrebt. Wie weit mir das gelungen ist, mögen einsichtige Leser beurteilen. Ich hoffe, es wird mir nicht als Unbescheidenheit ausgelegt werden, wenn ich auf meine Arbeit das Motto anwende, das ein Stammesgenosse von Donders, der grosse Maler Jan van Eyck, auf seine Bilder zu schreiben pflegte: „As ich chan".

Eine Folge der von mir beabsichtigten Darstellungsart war es, dass ich alle Hinweise auf die Literatur unterließ. Sie scheinen mir in einem Lehrbuch nicht am Platz zu sein, zumal den meisten Lesern eines solchen die citierten Schriften doch nur schwer oder gar nicht zugänglich zu sein pflegen. Bei einzelnen, besonders wichtigen Entdeckungen habe ich Hinweise auf die Urheber und ihre Lebenszeit eingefügt, ebenso hier und da den Entdecker einer einzelnen Thatsache genannt. Im allgemeinen wäre es mir aber schwer gewesen, für viele der vorgetragenen Lehren mich auf einen bestimmten Autor zu berufen; es hätte dazu einer eingehenden und kritischen geschichtlichen Darstellung bedurft, zu welcher in einem Lehrbuch der Raum fehlt. Die Grundanschauungen, von denen man bei der Darstellung sich leiten lässt, bilden zudem ein so verwickeltes Netzwerk aus dem durch Studium Aufgenommenen und dem aus eignen Erfahrungen Abgeleiteten, dass eine Entwirrung der verschlungenen Fäden kaum noch möglich ist. Der Berichterstatter muss für das, was er vorbringt, die Verantwortung tragen; ein geistiges Eigentumsrecht auf die Entdeckung des Vorgetragenen nimmt er nicht in Anspruch.

Zur Erläuterung der einzelnen Erscheinungen habe ich mich soviel als möglich auf typische Beispiele bezogen. Zu grossem Danke bin ich den Herren Professoren Strasburger in Bonn und Selenka in München verpflichtet, welche mir auf meine Bitte die Benutzung der Abbildungen, ersterer aus dem von ihm in Gemeinschaft mit den Herren Noll, Schenk und Schimper verfassten Lehrbuch der Botanik (Jena, Verlag von Gustav Fischer), letzterer aus dem im gleichen Verlag wie das vorliegende Buch erschienenen zoologischen

Taschenbuch gestatteten. Einige Figuren wurden aus dem im gleichen Verlag erschienenen Lehrbuch der Anatomie des Menschen von A. Rauber sowie aus dem von mir herausgegebenen Biologischen Centralblatt entlehnt. Die Figuren 32 und 35 sind nach Photographien, erstere nach einem Formalinpräparat des hiesigen physiologischen Instituts, hergestellt worden, Fig. 33 ist eine Nachbildung einer ähnlichen Darstellung in dem Lehrbuch der praktischen vergleichenden Anatomie von Carl Vogt und Emil Yung. Die übrigen, meist sehr einfachen Figuren sind nach von mir gefertigten Skizzen hergestellt worden.

Wenn das Buch den Nutzen stiftet, welchen ich von ihm erhoffe, so werde ich für die auf seine Abfassung verwendete Mühe reichlich belohnt sein. So trenne ich mich von ihm mit dem Wunsche, dass es aufmerksame Leser und nachsichtige Beurteiler finden möge.

Erlangen, 30. November 1900.

J. R.

Inhalt.

Erstes Kapitel.

Aufgaben und Inhalt der Physiologie. Verhältnis zu anderen Wissenschaften. Einteilung des Stoffes.

Seite

Naturobjekte und Vorgänge an denselben. — Empfindungen und Wahrnehmungen. — Verhältnis der Empfindungen zu den Wahrnehmungen. — Objekte und ihre Eigenschaften. — Einteilung. — Klassifizierung. — Verschiedene Arten der Einteilung. — Morphologie. Entwickelungsgeschichte. — Vorgänge; Bewegungen. — Physik und Chemie. — Biologie. — Verhältnis der Physiologie zu Physik und Chemie. — Beziehungen zur Pathologie. — Lebenserscheinungen im engeren Sinne. — Einteilung der Physiologie. — Physiologische Chemie. — Psychische Erscheinungen . . . . . 1—17

Zweites Kapitel.

Die logischen Grundlagen der Naturwissenschaften.

Urteile. — Wahre und falsche Urteile. — Assoziation der Vorstellungen. — Folgerichtigkeit der Erscheinungen. — Induktionsschlüsse. — Regeln. — Wahrscheinlichkeit der Regeln. — Hypothesen. — Gesetze. — Kausalitätsgesetz. — Ordnung der Erfahrungen. — Theorieen und Grundgesetze. — Deduktion. — Kritik der logischen Grundlagen. — Induktive und deduktive Wissenschaften. — Grad der Sicherheit unseres Wissens . . . . . 18—45

Drittes Kapitel.

Die Methoden der Forschung in den Naturwissenschaften im allgemeinen und in der Physiologie im besonderen.

Anfänge der neueren Naturforschung. — Mängel der Wahrnehmung. — Beobachtung. — Versuche. — Messende Versuche. — Maßeinheiten. — Messungsfehler. — Funktionsverhältnis. — Ableitung von Gesetzen aus Versuchen. — Empirische und rationelle Gesetze. — Quantitative und qualitative Versuche. — Apparate. — Beobachtungen und Versuche an lebenden Wesen. Vivisektion . . . . . 46—66

Viertes Kapitel.

Materie und Äther.

Materie. — Druck. — Masse. — Teilbarkeit der Materie. — Die Materie besteht aus diskreten Teilchen. — Grenze der Teilbarkeit. —

Seite

Volums- und Aggregatsveränderungen der Körper. — Zweierlei Arten von Naturvorgängen. — Verbindung und Zerlegung von Stoffen. — Atome. — Unveränderlichkeit der Massen. — Unveränderlichkeit der Stoffe. — Atomgewicht und Molekulargewicht. — Spezifisches Gewicht. — Unzulänglichkeit der Vorstellungen von der Materie. — Äther . . . . . 67—89

Fünftes Kapitel.

Bewegung und Energie.

Bewegung. — Arten der Bewegung. — Schwingungen. — Energie. — Arbeit. — Umwandlung von Energie. — Verschiedene Formen von Energie. — Perpetuum mobile. — Molekularbewegung. — Molekulare Energie. — Ursache der Energieverluste. — Messung der Wärme. — Chemische Energie. — Energie des Äthers. — Elektrische Erscheinungen. — Unveränderlichkeit der Energiemenge. — Auslösung. — Abgestufte Auslösung. . . . . 90—112

Sechstes Kapitel.

Verhalten der Gase und Flüssigkeiten.

Eigenschaften der Körper. — Verhalten der Gase bei verschiedenen Drucken. — Verhalten der Gase bei verschiedenen Temperaturen. — Absolute Temperatur. — Verhalten der Gasmolekeln. — Messung des Gasdrucks. — Kinetische Gastheorie. — Diffusion der Gase. — Partialdruck und Gesamtdruck in Gasmengen. — Avogadro's Hypothese. — Eigenschaften der Flüssigkeiten. — Verhalten der Flüssigkeitsteilchen an der Oberfläche. — Verhalten der Dämpfe. — Gasabsorption. — Gasdiffusion durch nasse Scheidewände. — Mischung von Flüssigkeiten. — Diffusion von Flüssigkeiten. — Diffusion von Flüssigkeiten durch poröse Scheidewände. — Osmotischer Druck . . . . . 113—144

Siebentes Kapitel.

Lösung und Quellung.

Struktur fester Körper. — Krystalle und amorphe Körper. — Lösungen. — Eigenschaften der Lösungen. — Unechte Lösungen. — Quellung. — Osmose der Kolloide. — Osmose an Pflanzenzellen. — Osmose an Blutkörperchen. — Osmose als Ursache von Bewegungen. — Zellstrukturen und künstliche Zellen. . . . . 140—169

Achtes Kapitel.

Die chemischen Verbindungen.

Einfache und zusammengesetzte Stoffe. — Verbindungen zwischen Gasen. — Zersetzung und Bildung von Wasser. — Gesetz der festen Volumverhältnisse. — Gesetz der festen Gewichtsverhältnisse. — Gasdichte und Molekulargewicht. — Gasdichte und Atomgewichte. — Verallgemeinerung des Gesetzes der festen Gewichtsverhältnisse. — Analyse von Verbindungen. — Quantitative Elementaranalyse. — Auf-

Seite

stellung chemischer Formeln. — Analyse und Berechnung der Formel für Äther. — Stöchiometrische Methode. — Die osmotische und andere Methoden. — Dissoziation der Gase. — Dissoziation gelöster Stoffe 170—192

Neuntes Kapitel.

Konstitution der chemischen Verbindungen.

Substitution. — Säuren, Basen, Salze. — Chemische Verwandtschaft der Atome. — Valenz oder Wertigkeit der Elemente. — Kohlenwasserstoffe. — Konstitutionsformeln. — Alkohole. — Aldehyde, Ketone. — Säuren. — Isomerie der Weinsäuren und Milchsäuren. — Asymmetrie des Kohlenstoffes. — Alkyläther, Säureanhydride und Ester. — Ungesättigte Verbindungen. — Benzolring. — Benzolderivate. Aromatische Verbindungen. — Stickstoffverbindungen. — Amidosäuren und Amide. — Kohlenstoff-Stickstoffringe. Alkaloide 193—228

Zehntes Kapitel.

Kohlenhydrate, Fette und Proteinstoffe.

Grundstoffe des Pflanzen- und Tierleibes. — Kohlenhydrate. — Einfache Zucker. Glykose. — Gärungen. — Fruktose, Galaktose. Mannose. — Pentosen. — Saccharosen. — Polysaccharide. — Hydrolyse der Stärkearten. — Fette, Vorkommen und Eigenschaften. — Fettemulsionen. — Konstitution der Fette. — Verseifung. — Proteinstoffe. — Einteilung der Proteinstoffe. Proteine. — Untergruppen der Proteine. — Hydrolyse der Eiweissstoffe. — Proteide. — Albuminoide . . . . . 229—260

Elftes Kapitel.

Allgemeiner Überblick über die Lebenserscheinungen.

Säugetiere. — Anatomie des Kaninchens. — Ernährung. Kreislauf des Blutes. — Das Blut. — Resorption. — Lymphe und Lymphgefässe. — Stoffwechsel. — Atmung. — Exkretionsdrüsen. — Nervensystem . . . . . 261—291

Zwölftes Kapitel.

Organismen und einfachste Lebewesen.

Organismen. — Verschiedene Arten der Organisation. — Amöben. — Bewegungen der Amöbe. — Aufnahme von Fremdkörpern. — Stoffwechsel und Atmung. — Wichtigkeit des Wassergehalts. — Vermehrung und Tod. — Scheintod und Encystierung. — Tötung durch Wasserentziehung und andere Schädigungen. — Kolonieen von Lebewesen. — Entwicklung. — Zellen, Gewebe, Organe . . . . . 292—318

Dreizehntes Kapitel.

Zellen, Zellgemeinschaften und Gewebe.

Die biologische Einheit. — Die Zelle als Elementarorganismus. — Protoplasma und Kern. — Zelldifferenzierung. — Zellmembran. —

Seite

Kontraktile Vakuole. – Geißel und Wimpern. – Muskeln. — Zellgemeinschaften. – Erste Entwickelungsstadien von Amphioxus. – Gewebe. – Drüsen. — Verschiedene Grade der Arbeitsteilung . . 319—352

Vierzehntes Kapitel.

Der Stoffwechsel der Lebewesen.

1. Atmung und Kreislauf.

Stoffwechsel. — Vergrößerung der Oberfläche. — Gastrovaskularsystem. — Sauerstoffbedürfnis aller Lebewesen. — Atmung der Pflanzen. – Atmungsorgane. – Lungen. — Tracheen. – Haut- und Darmatmung. — Rolle des Bluts bei der Atmung. — Kreislauf bei Warmblütern. – Kreislauf bei Amphibien und Fischen . . . . . 353—381

Fünfzehntes Kapitel.

Der Stoffwechsel der Lebewesen.

2. Ausscheidung und Wiederersatz.

Ausscheidung von Stoffen. – Quantitative Untersuchung des Stoffwechsels. – Stoffwechselgleichgewicht. — Ernährung der Pflanzen. Neubildung organischer Stoffe in der Pflanze. – Ausgabe von Sauerstoff durch Pflanzen. — Chlorophyll. — Wirkung verschiedener Lichtarten. – Entstehen und Vergehen des Chlorophylls. — Bewegung der Gase in der Pflanze. — Wasserbewegung in der Pflanze. – Bildung von Stärke. – Wanderung der Kohlenhydrate. — Bildung der Proteinstoffe. — Ernährung der Tiere . . . . . 382—404

Sechzehntes Kapitel.

Der Kreislauf der Stoffe.

Unterschiede der Ernährung bei Pflanzen und Tieren. — Größerer Stoffverbrauch bei Tieren. — Kreislauf der Stoffe. — Unveränderlichkeit der Materie. — Symbiosen von Pflanzen und Tieren. — Bedeutung der Düngung. — Chlorophyllfreie Pflanzen. — Chemische Wirkungen der Mikroben. — Stickstoffbakterien. — Vermoderung, Verwesung, Fäulnis. — Einteilung der Lebewesen. — Humusbewohner und Saprophyten. – Parasiten. — Verbreitung der Stoffe 405—430

Siebzehntes Kapitel.

Der Energiewechsel der Lebewesen.

Aufbau und Zersetzung der organischen Stoffe. – Oxydation im Tierkörper. — Plastische und respiratorische Stoffe. — Entstehung kinetischer Energie. — Kalorimetrische Messungen an Tieren. — Vergleichung von Tieren und Dampfmaschinen. — Endothermische und exothermische Prozesse. — Arbeitsleistung und Arbeitsverbrauch. — Chlorophyllfreie Pflanzen-Fermente und Enzyme. — Spezifizität der Enzyme. — Assimilation. — Grüne Pflanzen. — Energiewechsel der Lebewelt als Ganzes. — Einseitigkeit des Energiestromes . . . . 431—462

Seite

Achtzehntes Kapitel.

Leistungen der Organismen.

Übersicht der Leistungen. — Wärmeproduktion. — Wärmeregulierung. — Massenbewegung. — Protoplasmabewegung. — Ortsbewegung. — Eigenschaften der quergestreiften Muskeln. — Ermüdung und Erholung. — Elektrische Strömung. — Erzeugung von Licht . 463—488

Neunzehntes Kapitel.

Reizung und Reizbarkeit.

Begriff der Reizbarkeit. — Reizung und Auslösung. — Verhältnis von Reiz und Wirkung. — Tropismus une Taxis. — Reizerscheinungen durch Turgoränderung. — Nervensystem. — Nervenfasern und Nervenzellen. — Motorische und sensible Nerven. — Neuronketten. — Spezifische Energieen. — Sinnesorgane. — Willkürliche und automatische Bewegungen . . . . . 489—522

Zwanzigstes Kapitel.

Wachstum und Vermehrung.

Wesen des Wachstums. — Wachstum bei Pflanzen. — Wachstum tierischer Zellen. — Regeneration. — Teilung, Sprossung und Sporenbildung. — Konjugation. — Geschlechtliche Vermehrung. — Bedeutung der geschlechtlichen Vermehrung. — Kernteilung. — Entwicklung. — Epigenesis und Evolution. — Vererbungstheorieen . . 523—551

Einundzwanzigstes Kapitel.

Ursprung des Lebens.

Übergang toter Substanz in lebende. — Urzeugung. — Das Entstehen des Lebens ist unbekannt. — Veränderlichkeit der Lebewesen. — Systematische Einteilung. — Bedeutung der Einteilung. — Variabilität. — Entstehung neuer Arten. — Zuchtwahl. — Kampf ums Dasein. — Phylogenie. — Zweckmäßigkeit und Anpassung . . 552—577

Anhang.

Funktionsverhältnis. Graphische Darstellung und graphische Methoden 578—587

Erklärung einiger Kunstausdrücke . . . . . 588—594
Register . . . . . 595—616

Erstes Kapitel.

Aufgaben und Inhalt der Physiologie. Verhältnis zu anderen Wissenschaften. Einteilung des Stoffes.

1. Die Physiologie ist die Lehre von denjenigen Erscheinungen, welche an lebenden Wesen beobachtet werden. Sie gehört zu den Naturwissenschaften, deren Aufgabe es ist, die Summe alles unseres Wissens von der Natur in geordneter Weise darzustellen, oder mit anderen Worten, die Naturobjekte und deren Eigenschaften möglichst vollständig zu beschreiben, sowie alle an jenen Objekten zur Erscheinung kommenden Vorgänge darzustellen und die Zusammenhänge zwischen ihnen erkennbar zu machen. 1. Naturobjekte und Vorgänge an denselben.

Hierbei zeigt es sich, dass viele Naturobjekte untereinander große Ähnlichkeit haben, während sie sich von anderen, die wieder untereinander ähnlich sind, mehr oder weniger unterscheiden. Dasselbe gilt von den Vorgängen, welche an den Naturobjekten beobachtet werden. Wir können daher die Naturobjekte sowohl als die Naturerscheinungen in Reihen ordnen; dadurch kommen wir zu einer Einteilung derselben, welche um so zweckmäßiger und erschöpfender sein wird, je tiefer unsere Kenntnis der Naturobjekte und der Erscheinungen geworden ist. Durch solche Einteilung wird eine bessere Übersicht über die außerordentlich zahlreichen Thatsachen möglich, welche den Inhalt der Naturwissenschaft ausmachen. Bei der Fülle der uns bekannten und noch zu entdeckenden Objekte und Erscheinungen ist eine zweckmäßige Einteilung durchaus notwendig, wenn wir durch die Masse der Einzelheiten nicht in Verwirrung geraten wollen.

2. Von den Naturobjekten, ihren Eigenschaften und den an ihnen zu erkennenden Vorgängen erhalten wir Kenntnis durch unsere Sinnesorgane und die durch sie vermittelten Empfindungen. Letztere erscheinen uns als Wirkungen der Naturobjekte auf unsere Sinnesorgane. Wir kommen so zu der Vorstellung einer außerhalb unseres Körpers vorhandenen Außenwelt, von welcher wir durch 2. Empfindungen und Wahrnehmungen.

unsere Sinne Kenntnis nehmen. Alles, was wir auf diese Weise an den Naturobjekten zu erkennen glauben, bezeichnen wir als Wahrnehmungen der Außenwelt. Die verwickelten Vorgänge, welche sich bei dem Zustandekommen der Empfindungen und ihren Folgen abspielen, können nur mit Hilfe der Physiologie des Nervensystems und der Sinnesorgane zergliedert und erörtert werden. Hier muss es genügen festzustellen, dass wir durch die Sinnesempfindungen und die sich an diese anschließenden Bewusstseinsvorgänge zu zwei Reihen von Vorstellungen gelangen:

erstens, zu der eines empfindenden und sich dieser Empfindungen bewusst werdenden Ich und

zweitens, einer von diesem Ich verschiedenen Außenwelt.[1])

Dementsprechend müssen wir auch zweierlei Reihen von Erscheinungen oder Vorgängen scharf trennen: die in unserem Inneren sich abspielenden Vorgänge der Empfindungen und des Bewusstseins und die außerhalb unseres Ich sich abspielenden, von dem bewussten Ich wahrgenommenen Vorgänge.

8. Verhältnis der Empfindungen zu den Wahrnehmungen.

3. Diese beiden Reihen von Vorgängen sind nicht gleichwertig. Nur die ersteren, die Bewusstseinsvorgänge, kommen unmittelbar zu unserer Kenntnis; über ihr Vorhandensein und ihre innere Wahrheit kann für das empfindende und sich dieser Empfindungen bewusst werdende Subjekt kein Zweifel herrschen. Beispiele: Ich fühle Hunger, oder: Ich habe die Empfindung der Helligkeit, der Wärme u. s. w. Alle anderen Vorgänge dagegen werden erst durch eine oder meistens mehrere Empfindungs- und Bewusstseinsvorgänge der ersteren Art hervorgerufen; sie sind in Wahrheit keine unmittelbaren Wahrnehmungen, sondern Schlussfolgerungen aus den zum Bewusstsein gekommenen Empfindungen. Wenn ich sage: ich sehe eine Rose, so heißt das: ich habe eine Reihe von Empfindungen (Gesichtsempfindungen der Farbe und Gestalt, vielleicht auch noch Geruchs- und Gefühlsempfindungen), welche in Verbindung mit der Erinnerung an ähnliche frühere Empfindungen in mir die Vorstellung eines gewissen Dinges, Rose genannt, und daneben noch die Vorstellung von dem Ort, wo ich diese Rose sehe (am Strauch, in meiner Hand u. s. w.), erwecken. Der Vorgang ist also ein sehr verwickelter. In Wahrheit liegen allen sogenannten Wahrnehmungen von äußeren Objekten oder von Veränderungen an ihnen (Änderungen des Ortes u. a.) nur Zustände oder Änderungen im Zustande unseres Bewusstseins zu Grunde. Nur von diesen haben

[1]) Zur Außenwelt in diesem Sinne ist auch unser eigener Körper zu rechnen, soweit wir von ihm und dem, was an und in ihm vorgeht, durch Zustände des Bewusstseins etwas erfahren.

wir unmittelbare Kenntnis; aus ihnen ziehen wir dann Schlüsse auf äußere Objekte und Vorgänge an denselben.

Die Erkenntnis dieses Zusammenhanges hat dazu geführt, die reale Existenz einer außerhalb unseres Bewusstseins vorhandenen Welt überhaupt zu leugnen. Es ist hier nicht der Ort, die Berechtigung dieser philosophischen Lehre zu prüfen. Wir können sie um so mehr auf sich beruhen lassen, da für die naturwissenschaftliche Betrachtung die Frage, ob die Welt eine reale Existenz außerhalb und unabhängig von unseren Vorstellungen habe, ohne Bedeutung ist. Selbst wenn wir die reale Existenz der Welt leugnen, so wird dadurch an dem Wesen der Naturforschung, ihren Prinzipien und Methoden nichts geändert. Was wir die Welt oder die Natur nennen, existiert für uns in der That nur insoweit, als es zu unserem Bewusstsein kommt. Dies kann für verschiedene Menschen in verschiedener Weise der Fall sein. Für einen Blindgeborenen hat die Natur keine Farben, keine Unterschiede von Hell und Dunkel, Unterschiede der Formen nur insoweit, als er sie durch Tasten wahrnehmen kann. Diese Unterschiede existieren aber doch für die anderen Menschen, bei denen sie die Veranlassung zu verschiedenen Bewusstseinszuständen werden. Wir können also sagen, die Natur existiert für uns so weit, als sie Veranlassung zu Vorgängen des Bewusstseins giebt. Diese Vorgänge machen auf uns den Eindruck, dass sie entsprechenden Vorgängen in der Außenwelt parallel laufen, d. h. jedem Wechsel in den Zuständen unseres Bewusstseins *scheinen* entsprechende Wechsel in den Dingen der Außenwelt parallel zu gehen. Von *dieser* Außenwelt und den in ihr sich abspielenden Vorgängen handeln die Naturwissenschaften, unabhängig davon, ob wir diese Vorgänge und die Dinge, an denen sie erscheinen, für wirklich existierend zu halten geneigt sind oder nicht.

4. Objekte und ihre Eigenschaften.

4. Außer den Vorstellungen von Objekten oder „Dingen", welche nach den Angaben unserer jedesmaligen Bewusstseinszustände vorhanden sind, haften in unserem Bewusstsein auch Erinnerungen an Eindrücke, welche wir früher empfangen haben. Wir nennen diese Fähigkeit unseres Bewusstseins, frühere Eindrücke und die durch sie entstandenen Vorstellungen festzuhalten und bei Gelegenheit wieder hervorzurufen, *Gedächtnis*. Dieser Fähigkeit verdanken wir als bleibenden Bewusstseinsinhalt („Erfahrungsschatz") eine Fülle von Vorstellungen von Dingen und Vorgängen, welche früher auf unsere Sinne eingewirkt haben. Endlich erfahren wir durch Mitteilungen anderer Menschen allerlei von Eindrücken, welche sie empfangen und welche sie ebenfalls auf Objekte der Außenwelt bezogen haben.

Die Gesamtheit aller dieser „Dinge" macht das aus, was wir als „Natur" oder „Welt" bezeichnen, und alles dies kann Gegenstand der naturwissenschaftlichen Betrachtung werden.

Jedes dieser „Dinge“ macht in der Regel auf mehrere unserer Sinnesorgane gleichzeitig Eindruck, erweckt daher in uns verschiedene Bewusstseinszustände oder Vorstellungen. Ein Stück Marmor z. B. hat eine gewisse Form, welche wir durch das Gefühl und das Gesicht wahrnehmen; eine Farbe, die wir durch das Auge erkennen, u. s. w. Wir bezeichnen diese Eindrücke, welche mit dem Objekte gleichzeitig wahrgenommen werden, die ihm, wie es uns scheint, anhängen, als seine Eigenschaften. Wir können dabei wesentliche und unwesentliche Eigenschaften unterscheiden; an dem Marmor z. B. ist die Härte, die eigentümliche Aderung u. s. w. wesentlich, die Form dagegen unwesentlich, da wir Kugeln, Würfel, Säulen u. dergl. von Marmor kennen lernen, welche trotz ihrer sonstigen Verschiedenheit gewisse Eigenschaften gemeinsam haben, welche letztere wir eben deshalb als für den Marmor wesentlich bezeichnen.

5. Einteilung.

5. Indem wir Dinge mit einer Anzahl gleicher Eigenschaften zusammenstellen, erhalten wir eine erste, vorläufige Einteilung der Naturobjekte. So unterscheiden wir Gesteine, Pflanzen, Tiere, welche Gegenstand der Wissenschaften Mineralogie, Botanik und Zoologie sind. In diesen Wissenschaften werden zunächst die einzelnen Objekte, sofern sie zu den betreffenden Gruppen gehören, aufgezählt und ihre Eigenschaften beschrieben, d. h. diejenigen an ihnen bemerkbaren Erscheinungen, durch welche sie sich von anderen Objekten derselben Gruppe unterscheiden, welche für sie, wie wir sagen, wesentlich oder charakteristisch sind. Die allen Objekten einer Gruppe gemeinsamen Eigenschaften machen die Charaktere der Gruppe aus; durch sie unterscheiden sich alle Glieder dieser Gruppe von allen Objekten anderer Gruppen. So beschreibt der Mineraloge die einzelnen Mineralien je nach ihrer Form (ob sie z. B. krystallinisch oder amorph sind), Farbe, Härte, Durchsichtigkeit u. s. w. Dabei ergiebt sich dann, dass innerhalb einer und derselben Gruppe wieder Unterabteilungen gemacht werden können, in denen solche Objekte zusammengestellt werden, die eine Anzahl von Eigenschaften gemeinsam haben und sich eben dadurch von anderen Unterabteilungen derselben Gruppe unterscheiden. Je zweckmäßiger die Auswahl dieser zur Unterscheidung der Unterabteilungen benutzten Eigenschaften erfolgt ist, desto klarer und übersichtlicher wird die Einteilung. Wir nennen eine solche, nach bestimmten Gesichtspunkten getroffene Einteilung eine systematische und können daher auch die Wissenschaften, die sich mit dieser geordneten Aufzählung der Naturobjekte beschäftigen, als systematische Naturwissenschaften bezeichnen.

6. Klassifizierung.

6. Die Einordnung aller uns bekannt gewordenen Naturobjekte in ein System nennt man auch Klassifizierung. Durch die Ein-

teilung in Gruppen mit ihren Unterabteilungen (Reiche, Klassen, Ordnungen u. s. w.) wird nicht nur die Übersicht über die unzähligen Naturobjekte erleichtert, sondern auch das Erlernen und Behalten ihrer Eigenschaften. Denn wenn wir die gemeinsamen Charaktere einer größeren Gruppe von Naturobjekten z. B. ganzer Tierklassen (Säugetiere, Vögel u. s. w.) kennen lernen, so wird dadurch dem Gedächtnis eine viel geringere Arbeit zugemutet, als wenn wir uns diese Eigenschaften von jedem einzelnen Objekte einprägen müssten. Daraus erwächst ferner für die Darstellung der Wissenschaften eine erhebliche Ersparnis an Zeit und Arbeit, indem vielfache Wiederholungen, die sonst unvermeidlich wären, fortfallen. Wenn wir neue Naturobjekte kennen lernen, so beginnt die wissenschaftliche Betrachtung derselben immer damit, durch Prüfung ihrer Eigenschaften festzustellen, in welche Abteilung sie einzureihen sind, an welcher Stelle des Systems sie ihren Platz finden. Die Grundsätze, nach denen die Klassifizierung vorgenommen wird, können verschieden sein. Man kann ein hervorragendes Merkmal als Einteilungsgrund wählen, z. B. die Zahl der Staubfäden bei den Blütenpflanzen (im Linné'schen System). Solche Systeme nennt man künstliche. Je mehr man jedoch alle wichtigen Charaktere berücksichtigt, desto sicherer wird man sein, dass die in wesentlichen Eigenschaften wirklich ähnlichen Objekte in dieselbe Abteilung zu stehen kommen; man erhält dann ein natürliches System.

7. Verschiedene Arten der Einteilung.

7. Die Einteilung der Naturobjekte in die drei Reiche der Mineralien, Pflanzen und Tiere genügt zwar insoweit, als jedes Objekt in eines dieser drei Reiche eingereiht werden kann, aber trotzdem macht sich das Bedürfnis nach noch anderen Einteilungen der Naturwissenschaften geltend. Es kann z. B. wünschenswert sein, ein einzelnes Objekt wegen seiner größeren Bedeutung zum Gegenstand einer gesonderten Betrachtung zu machen, auch wenn dieses Objekt ein zusammengesetztes ist und Teile enthält, welche, gesondert betrachtet, in zwei oder alle drei Naturreiche gehören. So machen wir z. B. die Erde als Ganzes und besonders in ihrer Bedeutung als Wohnplatz des Menschen zum Gegenstand einer besonderen Wissenschaft (Geographie) oder den gestirnten Himmel (Astrognosie) oder den Menschen selbst (Anthropologie). Beschränken wir uns bei diesem nicht auf eine Beschreibung der äußeren, ohne weiteres erkennbaren Eigenschaften und der wichtigeren Unterschiede (Rassen u. s. w.), sondern suchen wir durch Zergliederung auch den inneren Bau zu erforschen, so erhalten wir den Inhalt einer anderen Wissenschaft, der Anatomie. Die Zergliederung kann ebenso auch auf jedes Tier angewandt werden;

man kann demnach von einer Anatomie des Hundes, Pferdes oder Seeigels sprechen. Indem man den Nachdruck auf die Vergleichung der Formen und Organisationen legt, kommt man zu einer vergleichenden Anatomie des Tierreichs oder einzelner Abteilungen desselben. Ebenso giebt es eine Anatomie der Pflanzen, und in ähnlicher Weise kann auch die innere Struktur der Gestein- und Felsarten zum Gegenstand genauerer Beschreibung gemacht werden (Petrographie).

8. Morphologie. Entwicklungsgeschichte.

8. Die Anatomie der Tiere und Pflanzen, welche Naturobjekte man als organische oder belebte den unorganischen oder unbelebten gegenüberstellt, beschränkt sich nicht auf die äußere Beschreibung und auf die grobe Zergliederung mittels des Seziermessers, sondern sucht namentlich mit Benutzung des Mikroskopes zur feineren Kenntnis des Baues (der Struktur) dieser Wesen vorzudringen. Die so erlangten Aufschlüsse haben auch auf die äußeren Formen derselben, die ja gerade für Pflanzen und Tiere sehr charakteristisch zu sein pflegen, helles Licht geworfen, sie unserem Verständnis näher gebracht. Man bezeichnet neuerdings die Gesamtheit dieser Kenntnis von den Formen der Lebewesen, wie wir sie kurz zum Unterschied von den unbelebten nennen wollen, als Morphologie.

Wir können aber die Formen der Lebewesen nicht studieren, ohne zu bemerken, dass dieselben nicht konstant sind, sondern dass an einem und demselben Lebewesen nacheinander verschiedene Formen auftreten. Wir können dieser Formfolge unter günstigen Umständen an einem und demselben Wesen Schritt für Schritt nachgehen und erhalten so eine Geschichte dieses Wesens oder, wie man es gewöhnlich nennt, die Geschichte seiner Entwicklung. Betrachten wir beispielsweise einen Frosch, so ergiebt sich, dass die Form des fertigen Tieres hervorgegangen ist aus der eines ganz anders aussehenden Wesens, der Froschlarve oder Kaulquappe, und dieses wieder hat sich aus einem sogenannten Ei entwickelt. Ebenso entwickelt sich eine Pflanze (z. B. eine Erbsenpflanze) aus einem sogenannten Samen (einer Erbse), und dieser Samen seinerseits hat sich wieder aus einem kleineren Gebilde entwickelt, das auch hier Ei genannt wird.

Mit der Besprechung von solchen Fragen geht die Wissenschaft schon über das Gebiet der reinen Beschreibung von Formen hinaus. Die Erörterung der Entwicklung schließt Fragen der Veränderung ein oder dessen, was wir im Eingange mit dem Namen Vorgänge bezeichnet haben.

In der That sind die morphologischen Wissenschaften über den engen Rahmen der bloßen Formenbeschreibung, der ihnen früher eigentümlich war, längst hinausgewachsen. Das Gleiche gilt auch

mehr oder weniger von den Wissenschaften, welche sich mit den Objekten der unbelebten Natur beschäftigen.

An die Beschreibung der Gesteine knüpfen sich Fragen über die Art ihrer Entstehung, an die Beschreibung des jetzigen Zustandes der Erde Fragen über die Vorgänge, welche zu den jetzigen Formationen geführt haben. Es zeigt sich, dass solche Veränderungen nicht bloß stattgefunden haben, sondern noch fortwährend stattfinden. So wird unsere Aufmerksamkeit auf ein anderes ungeheures Gebiet des Wissenswerten gelenkt. Neben dem, was ist, wollen wir auch wissen, was geschieht, was mit den existierenden Dingen vorgeht.

9. Vorgänge; Bewegungen.

9. Was wir Vorgänge genannt haben, sind also Veränderungen, welche wir an den Objekten der Außenwelt wahrnehmen. Insofern als alle unsere Anschauung von der Außenwelt an die Wahrnehmungsformen des Raumes und der Zeit gebunden sind, können wir auch sagen, Vorgänge sind Veränderungen der Dinge im Raume und in der Zeit. Wir sehen z. B. in aufeinander folgenden Zeiten zwei Gegenstände oder Körper, A u. B, in verschiedenen Lagen gegeneinander. Haben wir den Eindruck, dass der eine Körper dabei seine Lage im Raume nicht geändert habe, so sagen wir, der andere habe sich bewegt. Bewegungen sind aber immer nur relativ. Wenn zwei Körper sich in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so ändert sich ihre relative Lage zueinander nicht, wohl aber ihre Lage zu anderen Körpern. Für unsere erste Wahrnehmung kommt besonders die Bewegung in Betracht, welche Körper der Außenwelt relativ zu unserem eigenen Körper ausführen.

Veränderungen, welche wir an Objekten beobachten, ohne dass dieselben dabei ihren Ort (relativ zu anderen Objekten) verändern, lassen sich, wie wir später noch ausführlicher sehen werden, in vielen Fällen als relative Bewegungen der einzelnen Teile des Objekts gegeneinander auffassen.

10. Physik und Chemie.

10. Bei den bisher erwähnten Wissenschaften war immer die Beziehung auf das Objekt der Betrachtung das Maßgebende. Die Objekte wurden in ihren Eigenschaften untersucht und beschrieben; in zweiter Linie kamen dann die Vorgänge oder Veränderungen, welche an diesen Objekten beobachtet werden. Es giebt aber auch Wissenschaften, welche die Vorgänge als solche zum Gegenstand ihrer Untersuchung machen, ohne besondere Rücksichtnahme auf einzelne Objekte, an denen sich diese Vorgänge in jedem besonderen Falle vollziehen. Am allgemeinsten thut dies die Physik. In der That kann bei vielen Problemen der Physik von den besonderen Eigenschaften der Objekte ganz abgesehen werden; nur die allgemeinen Eigenschaften aller Naturobjekte kommen in Frage. Für die Erscheinungen der sogenannten Schwere z. B. ist es ganz

gleichgiltig, ob wir sie an einem Stein oder an einem Tier beobachten. Die Physik behandelt aber nur solche Vorgänge, bei denen, wie man zu sagen pflegt, die Zusammensetzung [1]) und damit die wesentlichen Eigenschaften der Körper unverändert bleiben. Treten dagegen Änderungen der Zusammensetzung auf, entstehen bei den Vorgängen Körper mit anderen wesentlichen Eigenschaften, so haben wir es mit Vorgängen zu thun, wie sie die Chemie behandelt. Beide Arten von Vorgängen, physikalische und chemische, gehen fortwährend in den lebenden Wesen vor sich, und darum ist die Physiologie, welche sich speziell mit den eigentümlichen Vorgängen der lebenden Wesen beschäftigt, einem großen Teil ihres Inhaltes nach eine Physik und Chemie der lebenden Wesen.

11. Biologie.

11. Morphologie und Physiologie bilden die Gesamtheit dessen, was die naturwissenschaftliche Betrachtung von den lebenden Wesen feststellen kann. Man fasst beide auch unter dem Namen Biologie zusammen. Wir können die Physiologie gar nicht behandeln, ohne fortwährend Streifzüge in das Nachbargebiet der Morphologie zu machen. Die Vorgänge, mit denen sich die Physiologie zu beschäftigen hat, sind in so hohem Grade von den Formbestandteilen der Lebewesen und den durch die Form mitbedingten Eigenschaften ihrer Teile abhängig, dass sie ohne Kenntnis der Morphologie gar nicht zu behandeln sind. Speziell für die Physiologie des Menschen wird daher die Kenntnis seiner gröberen und feineren Anatomie als Vorbedingung erforderlich sein.

Man drückt das zuweilen so aus, dass man sagt, die Anatomie sei eine Hilfswissenschaft der Physiologie. Damit soll keineswegs eine Art von Unterordnung bezeichnet werden. Eine jede Wissenschaft hat ihren Wert in sich. Sein Wissen zu vermehren ist ein Bedürfnis, welches jeder Mensch mehr oder weniger lebhaft fühlt. Eine tiefere Befriedigung kann aber nur die Aneignung eines geordneten Wissens gewähren, wie es eben die einzelnen Wissenschaften bieten. Zur Beschränkung auf ein umgrenztes Gebiet sind wir gezwungen durch den Umfang des Wissenswerten, welcher einem einzelnen Menschen es unmöglich macht, in viele Gebiete gleich tief einzudringen. Welches Gebiet der einzelne für sein Studium wählt, das hängt ab von seinen Neigungen, Naturanlagen u. s. w. Welches Gebiet man aber auch zu seinem Spezialstudium gewählt haben mag, stets ist man genötigt, aus den Nachbargebieten sich so viel anzueignen, als zum Verständnis der Erscheinungen auf dem eigenen Spezialgebiet erforderlich ist. Diese Nachbargebiete sind dann in Beziehung auf das gewählte Hauptgebiet Hilfs-

[1]) Was hierunter zu verstehen ist, wird an einer späteren Stelle erörtert werden.

wissenschaften, unbeschadet ihrer selbständigen Bedeutung, welche sie als Wissenschaften außerdem in Anspruch nehmen können.

12. Da in den lebenden Wesen fortwährend physikalische und chemische Prozesse vor sich gehen, und da diese Vorgänge einen sehr großen Teil dessen ausmachen, was wir an den lebenden Wesen zu erforschen haben, so könnte man mit vielem Recht die Physiologie auch als Physik und Chemie der Lebensvorgänge definieren. Ob außer physikalischen und chemischen Prozessen noch Vorgänge anderer Art in den lebenden Wesen ablaufen, und ob diese in einem anderen und besonderen Sinne als Lebensvorgänge anzusehen sind, ist eine Frage, welche wir später noch gesondert erörtern werden. Je weiter die Erforschung der Lebensvorgänge bisher vorgedrungen ist, desto mehr konnten viele derselben auf physikalische und chemische Prozesse zurückgeführt werden. Jedenfalls aber gehören alle innerhalb eines lebenden Wesens vorgehenden Prozesse in das Gebiet der Physiologie, und die Auffindung des Zusammenhanges dieser Prozesse mit anderen bekannten Vorgängen macht die vornehmste Aufgabe der wissenschaftlichen Forschung der Physiologen aus. 12. Verhältnis der Physiologie zu Physik und Chemie.

Die für das Leben der höheren Tiere notwendige Bewegung des Blutes z. B. ist ein rein physikalischer Vorgang; zu seinem Verständnis ist die Kenntnis der Gesetze der Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren erforderlich, welche in einem Abschnitte der Physik, der Hydrodynamik, behandelt werden. Die Aufklärung dieses Zusammenhanges und der besonderen Umstände, welche bei der Bewegung des Blutes innerhalb der Blutgefäße in Betracht kommen, ist einer der bedeutendsten Fortschritte in der physiologischen Erkenntnis gewesen. Die Verdauung der Nahrungsmittel setzt sich aus einer Reihe von Prozessen zusammen, welche schließlich zur Auflösung der mit der Nahrung eingeführten Stoffe und dann zum Übergang derselben in die Säfte des Tierkörpers führen. Der erstere Vorgang ist im wesentlichen chemischer, der letztere physikalischer Natur. Je weiter wir in der Erkenntnis aller dieser Vorgänge vorschreiten, desto vollständiger wird das Bild, das wir von den Lebensprozessen entwerfen können. Daher ist der Physiologe gezwungen, sich mit den Lehren der Physik uud Chemie bekannt zu machen, um sie auf die Vorgänge in den Lebewesen anwenden zu können. In vielen Fällen bedarf es dazu einer Weiterführung der physikalischen und chemischen Untersuchungen in der bestimmten, für die Lebensvorgänge in Betracht kommenden Richtung. Der Physiologe ist deshalb zuweilen genötigt, physikalische und chemische Untersuchungen vorzunehmen, um sich die erforderlichen Unterlagen für die besonderen, von ihm zu lösenden physiologischen Aufgaben zu schaffen.

13. Die Lebenserscheinungen hängen nicht allein von den Eigenschaften der Teile des lebenden Körpers, sondern auch von der Be- 13. Beziehungen zur Pathologie.

schaffenheit der das Lebewesen umgebenden Medien ab. Wenn die einen oder die anderen von den gewöhnlichen Zuständen abweichen, so nehmen die Lebenserscheinungen gleichfalls einen von dem gewöhnlichen abweichenden Verlauf an. Sind die Abweichungen erheblich, so stören sie den normalen Ablauf der Vorgänge, und diese geraten in Unordnung. Wir sagen dann, das Lebewesen sei krank. Die Krankheit kann zur Vernichtung des Lebens, zum Tode, führen, oder die Abweichungen können wieder vollkommen ausgeglichen werden, was wir Heilung nennen; oder endlich das Leben bleibt zwar erhalten, aber der Verlauf der Lebenserscheinungen bleibt dauernd in einzelnen Stücken abweichend von der Norm.

Mit solchen Abweichungen beschäftigt sich die Pathologie. Wir können daher die Pathologie als einen Zweig der Physiologie betrachten, als die Lehre von dem Verlauf der Lebenserscheinungen unter abnormen, krankhaften Verhältnissen. Je genauer unsere Kenntnis von den normalen Lebensvorgängen ist, desto besser werden wir imstande sein, krankhafte Abänderungen derselben zu erkennen und zu verstehen. Aber wenn so die Physiologie die eigentliche Grundlage der Pathologie ist, so kehrt sich doch in vielen Fällen das Verhältnis um, und die Pathologie wird die Lehrmeisterin der Physiologie. Bei den höchst verwickelten Vorgängen des Lebens, bei denen viele Teile auf das mannigfachste ineinander greifen und zusammenwirken, ist es häufig sehr schwer, die Vorgänge genau genug zu verfolgen, um zu einem Verständnis derselben zu kommen. Da geben dann oft pathologische Zustände mit ihren Abweichungen Fingerzeige, welche das Verständnis anbahnen und erleichtern. Wenn z. B. einzelne Teile des Lebewesens ihre Thätigkeit infolge von Erkrankungen vollkommen einstellen und dadurch in dem Gesamtbilde der Vorgänge kleinere oder größere Veränderungen eintreten, so lernen wir daraus, dass jene Teile bei dem normalen Verlauf der Lebensvorgänge in einem bestimmten Sinne beteiligt sein müssen.

14. Lebenserscheinungen im engeren Sinne.

14. Nicht alle Vorgänge, welche wir an Lebewesen wahrnehmen, sind durchaus charakteristisch für dieselben. Manche Vorgänge treten an ihnen in derselben Weise und in demselben Maße auf, wie sie auch an anderen, unbelebten Naturobjekten vorkommen. So hat z. B. irgend ein Tier ein bestimmtes Volum und ein bestimmtes Gewicht; wenn sein Schwerpunkt nicht unterstützt ist, fällt es zu Boden. Das ist keine Lebenserscheinung, denn dasselbe erfolgt auch bei einem Stein in gleicher Weise. Wenn wir ein Tier genau wägen, dann für einige Stunden in einen Käfig sperren und es nach Verlauf dieser Zeit wieder wägen, so finden wir, dass es an Gewicht verloren hat. Auch diese Erscheinung kann in ganz ähnlicher Weise an unbelebten Gegenständen auftreten. Wenn wir ein Gefäß mit

Wasser genau wägen, es offen stehen lassen und nach einigen Stunden wieder wägen, so finden wir meistens auch eine Gewichtsabnahme, weil ein Teil des Wassers verdunstet, d. h. in Gasform übergeht und sich der über dem Wasser stehenden Luft beimischt. Wenn wir eine glühende Kohle wägen und dann liegen lassen, während sie fortglimmt, so wird sie bei einer wiederholten Wägung gleichfalls eine Gewichtsverminderung zeigen. In diesem Falle lehrt uns die Chemie, dass der Kohlenstoff, aus welchem die Kohle besteht, sich mit Sauerstoff, einem Bestandteil der atmosphärischen Luft, zu Kohlendioxyd verbunden und dass dieses Gas sich in der umgebenden Luft verbreitet hat. Die physiologische Untersuchung lehrt, dass beide Vorgänge auch bei dem Tiere stattfinden; das Tier giebt Wasserdampf und Kohlendioxyd ab und verliert dadurch an Gewicht. Trotzdem rechnen wir die Gewichtsabnahme des Tieres zu den Lebensvorgängen. Denn sie ist mit den übrigen Lebenserscheinungen innig verknüpft, sie geht unter bestimmten, nur in den Lebewesen gegebenen Bedingungen vor sich und stellt einen besonderen Fall jener an der glimmenden Kohle und dem verdunstenden Wasser vorkommenden physikalischen und chemischen Vorgänge dar.

Wenn wir eine Katze aus mäßiger Höhe fallen lassen, so können wir etwas bemerken, wodurch sich ihr Fallen von dem eines Steines wesentlich unterscheidet. Es heißt, man könne die Katze fallen lassen, wie man wolle, sie falle immer auf die Füße. Ich weiß nicht, ob dies wirklich immer der Fall ist, in vielen Fällen trifft es aber durchaus zu. Die Katze dreht sich während des Fallens so, dass sie mit den Füßen zuerst den Boden berührt. Die Physiologie lehrt uns, dass es sich hierbei um eine Wirkung der Muskeln und des Nervensystems der Katze handelt. Und da Muskeln und Nerven nur belebten Wesen zukommen, so haben wir es also mit einer Lebenserscheinung zu thun, und zwar von noch spezifischerer Art als in dem vorherigen Beispiel.

Es würde voreilig sein, wenn wir annehmen wollten, dass diese Lebenserscheinungen auch prinzipiell von den Vorgängen der unbelebten Natur verschieden seien. Die Bewegungen der Tiere sind sehr komplizierte Vorgänge. Ihre Erforschung nimmt einen breiten Raum in der Physiologie ein, und erst ein genaueres Studium kann darüber entscheiden, ob diese Vorgänge sich denen der unbelebten Natur anreihen lassen, oder ob sie sich von ihnen vollkommen unterscheiden.

15. Einteilung der Physiologie.

15. Manche Lebenserscheinungen sind allen Lebewesen gemeinsam, andere können nur in einzelnen Gruppen von Lebewesen nachgewiesen werden. Aber auch diejenigen, welche einer größeren Zahl von Lebewesen gemeinsam zukommen, können sich, je nach dem Bau und den Einrichtungen derselben, in verschiedener Weise

äußern. Wir können deshalb die zahlreichen Vorgänge, deren geordnete Darstellung die Wissenschaft der Physiologie ausmacht, und demgemäß diese Wissenschaft selbst in verschiedener Weise vortragen, je nachdem wir darauf ausgehen, entweder alle Lebenserscheinungen, wie sie bei einem bestimmten Lebewesen, z. B. dem Menschen, zu beobachten sind, in möglichster Vollständigkeit zu beschreiben, oder aber die einzelnen Lebenserscheinungen, wie Atmung, Ernährung u. s. w., jede für sich gesondert zu behandeln, sie sozusagen vergleichend physiologisch durch die verschiedenen Lebewesen zu verfolgen. Der Inhalt einer Darstellung der ersten Art macht das aus, was man in der Regel die spezielle Physiologie eines bestimmten Lebewesens nennt; vollständig durchgeführt worden ist dieselbe wohl immer nur für die Physiologie des Menschen. Die zweite Art der Darstellung, die vergleichende Physiologie, ist je nach dem Stande des Wissens mehr oder minder vollständig zu verschiedenen Malen von Haller, Rudolphi, Johannes Müller, Bergmann und Leuckart, zuletzt von H. Milne Edwards, unternommen worden, in der Regel nur in Beschränkung auf die Tierwelt oder auch nur auf einen Teil derselben. — Die Physiologie der Pflanzen wird in der Regel, ganz von der der Tiere getrennt, als ein Teil der Botanik behandelt.

Geht man den Lebenserscheinungen ohne besondere Rücksicht auf die einzelnen Lebewesen nach, und versucht man, sie sich in ihrem Wesen klar zu machen, teils durch Vergleichung untereinander, teils durch Bezugnahme auf die ihnen ähnlichen oder mit ihnen identischen Vorgänge in der unbelebten Natur, so gewinnt man ein Bild von denjenigen Vorgängen, welche als spezifische Lebenserscheinungen angesehen werden können. Aus dem Zusammenwirken dieser setzen sich in mannigfachen Kombinationen die Lebenserscheinungen der einzelnen Lebewesen zusammen, mit denen sich die spezielle Physiologie beschäftigt. Die Betrachtung der Erscheinungen an sich, gleichsam losgelöst von den besonderen Bedingungen, unter denen sie bald so, bald anders modifiziert in den einzelnen, verschiedenen Lebewesen auftreten, kann man unter dem Namen einer allgemeinen Physiologie zusammenfassen.

Bruchstücke aus derselben werden sehr oft zusammen mit ausgewählten Abschnitten aus der Physik, Chemie und anderen Wissenschaften, welche zur Erläuterung einzelner physiologischer Probleme nützlich sind, in den Lehrbüchern der speziellen Physiologie gelegentlich mitgeteilt. Die allgemeine Physiologie hat aber durch die Fülle des in ihr zu behandelnden Stoffes das Recht auf eine selbständige Darstellung erworben, um so mehr als sie nicht nur für das Verständnis einer speziellen Physiologie, sei

es des Menschen oder anderer Lebewesen, Dienste leistet, sondern auch den Vertretern anderer Wissensgebiete (Botanik, Zoologie u. s. w.) Nutzen gewährt und durch das, was sie zum Verständnis der Lebenserscheinungen beibringt, als Grundlage der gesamten Biologie gelten darf. In diesem Sinne soll der Versuch gemacht werden, die allgemeine Physiologie in den späteren Kapiteln dieses Buches darzustellen.

Spezielle Physiologien einzelner Lebewesen muss es so viele geben, als es voneinander verschiedene und in ihren Lebensäußerungen sich unterscheidende Gruppen von Lebewesen giebt.

Die deutlichsten Unterschiede sowohl in den Formen wie in den Lebenserscheinungen zeigen sich zwischen den großen Hauptgruppen oder Reichen, welche man als Pflanzen und als Tiere bezeichnet. Zwischen einem Löwen und einer Eiche sind die Unterschiede so erheblich, dass es sogar schwer ist, das Gemeinsame in ihren Lebensvorgängen herauszufinden. Manche Tiere wiederum gleichen in ihren äußeren Formen den Pflanzen so sehr, dass sie leicht für solche gehalten werden können, und dass erst die physiologische Untersuchung die Übereinstimmung ihrer Lebenserscheinungen mit denen anderer Tiere aufweist. In anderen Fällen lehrt die Untersuchung, dass die spezifischen Eigenschaften, welche sonst Tiere und Pflanzen scharf trennen, gar nicht oder doch so schwach ausgeprägt oder auch so gemischt vorhanden sind[1]), dass es schwer oder ganz unmöglich ist, zu entscheiden, ob man es mit einem Tier oder mit einer Pflanze zu thun hat.

Die Einteilung der Lebewesen in Pflanzen und Tiere ist also nicht so streng durchführbar, wie es auf den ersten Blick erscheint. Man hat daher auch eine Dreiteilung vorgeschlagen in: 1. Protisten, d. h. Lebewesen, welche weder die charakteristischen Erscheinungen der Pflanzen, noch die der Tiere aufweisen, sondern sozusagen Lebewesen schlechtweg sind; 2. Pflanzen; 3. Tiere. Demnach könnte man auch unterscheiden:

1. Physiologie der Protisten,
2. Physiologie der Pflanzen,
3. Physiologie der Tiere.

Wie wir später ausführlich auseinandersetzen werden, ist die Mehrzahl der Tiere und Pflanzen zusammengesetzt oder hervorgegangen aus Teilen, welche ganz ähnlich beschaffen sind wie die Leibessubstanz der Protisten. Man nennt diese Teile Zellen. Deshalb hat man versucht, die sämtlichen Lebenserscheinungen auf die Eigenschaften der Zellen zurückzuführen und diese an

[1]) In manchen Fällen sind diese Eigenschaften zeitlich getrennt, indem ein und dasselbe Lebewesen während einiger Zeit die Erscheinungen tierischen Lebens zeigt, zu andern Zeiten aber sich wie eine Pflanze verhält.

den Protisten, welche als isoliert lebende Zellen anzusehen sind, zu erforschen. Wir werden sehen, dass diese Anschauungsweise viel zur Aufklärung der verwickelten Lebenserscheinungen beigetragen hat. Wir müssen aber um so nachdrücklicher betonen, dass die Erforschung der Eigenschaften der Protisten, welche wegen ihrer geringen Größe fast nur der mikroskopischen Untersuchung zugänglich sind, mit vielen Schwierigkeiten verknüpft ist. Viele Untersuchungsmethoden sind bei ihnen überhaupt nicht anwendbar. Wichtige Lebenserscheinungen der Protisten sind uns überhaupt nur bekannt geworden, weil wir die gleichen Erscheinungen an den zusammengesetzten Lebewesen kennen gelernt haben und weil wir aus einzelnen Thatsachen mit großer Wahrscheinlichkeit abzuleiten imstande waren, dass sie auch bei jenen vorhanden sein müssten. Mit der Verknüpfung vieler, den Protisten vergleichbarer Zellen zu komplizierten Lebewesen geht, wie später gezeigt werden wird, eine derartige Veränderung vor sich, dass die einzelnen Erscheinungen deutlicher und leichter erkennbar werden. Nachdem diese bei den komplizierten Lebewesen erforscht waren, konnten sie auch bei den Protisten in ihren undeutlichen Erscheinungsweisen wiedererkannt werden. Dazu kommt, dass in den winzigen Massen lebender Substanz, als welche wir die Protisten anzusehen haben, eine Anzahl von Eigenschaften vereinigt sind, welche sich bei anderen Lebewesen in verschiedenen Teilen gesondert, zugleich aber viel ausgeprägter und darum leichter erkennbar vorfinden. Aus allen diesen Gründen ist es nicht möglich, etwa den gesamten Inhalt der allgemeinen Physiologie nur an den Protisten zu erkennen und darzustellen. Vielmehr muss man hierfür die Gesamtheit der Lebewesen heranziehen, je nachdem die eine oder die andere Erscheinung bald an diesen, bald an jenen deutlicher hervortritt. Erst durch die Vergleichung der so gewonnenen Ergebnisse gewinnen wir die Grundlagen zum Verständnis der verwickelten Erscheinungen sowohl an den Protisten wie an den komplizierten Lebewesen.

Die verschiedenen Abteilungen der Physiologie haben im Laufe der Zeiten sehr verschiedene Ausbildung erfahren. Am meisten ist die Physiologie des Menschen bearbeitet worden, schon wegen ihrer Wichtigkeit für die Medizin. Manche Lebenserscheinungen lassen sich aber am Menschen nur unvollkommen oder gar nicht erforschen. Man ist daher genötigt, auf die Physiologie der Tiere, namentlich der im anatomischen Bau mit dem Menschen in allen wesentlichen Teilen übereinstimmenden Säugetiere, zurückzugreifen und dann nachträglich zu untersuchen, wie weit oder mit welchen Änderungen die an jenen beobachteten Thatsachen auch für den Menschen Geltung haben. Manche Erscheinungen lassen sich noch

besser an den sogenannten kaltblütigen Tieren erforschen. Aus solchen stückweise an verschiedenen Lebewesen gewonnenen Erfahrungen setzt sich die Physiologie zusammen, auch wenn sie mit besonderer Rücksicht auf eine bestimmte Art, z. B. den Menschen, vorgetragen wird.

16. Während für die Einteilung der Physiologie nach dem Vorhergehenden das Lebewesen, um dessen Lebensvorgänge es sich handelt, maßgebend ist, kann man auch bestimmte Gruppen von Lebenserscheinungen, z. B. die Atmung, die Ernährung u. s. w., herausgreifen und sie durch das ganze Tier- und (soweit sie auch dort vorkommen) Pflanzenreich hindurch verfolgen. Dieser Art der Behandlung einzelner Lebenserscheinungen, welche in vielen Beziehungen nützlich und lehrreich sein würde, begegnet man bis jetzt verhältnismäßig selten. Hiervon macht jedoch eine Reihe von Erscheinungen eine Ausnahme, nämlich die Lehre von den chemischen Prozessen in den Lebewesen, namentlich in der Tierwelt. Anfangs wurde die Erforschung dieser Vorgänge von den Chemikern nebenbei betrieben. Seitdem sich die Chemie zu einer Wissenschaft entwickelt hat, deren Bewältigung in ihrem ganzen Umfang selbst bei angestrengter Thätigkeit einem einzelnen Forscher kaum noch vollkommen gelingt, ist eine Scheidung zwischen der eigentlichen Chemie und der physiologischen Chemie notwendig geworden. Da es aber auch dem Physiologen von Fach nicht mehr möglich ist, die Verfolgung der chemischen Prozesse im Tierkörper neben der Erforschung der übrigen physiologischen Erscheinungen in vollem Umfange durchzuführen, ist es dahin gekommen, dass einzelne Forscher die chemischen Prozesse der Lebensvorgänge besonders und eingehender studieren, und demgemäss wird die physiologische Chemie öfter als eine besondere Disziplin vorgetragen und in Büchern behandelt. 16. Physiologische Chemie.

Diese Arbeitsteilung hat, wegen der besseren chemischen Schulung, welche solche Spezialforscher mitbringen oder sich aneignen, dem Fortschritt der Wissenschaft großen Nutzen gebracht. In einer Darstellung der gesamten Physiologie aber können die chemischen Vorgänge nicht gesondert, sondern nur im Zusammenhang mit allen anderen an passender Stelle abgehandelt werden. Was bei der Forschung zu trennen vorteilhaft ist, muss beim Vortrag des Erforschten wieder zusammengefasst und in passende Ordnung gebracht werden. Bei den Lebensvorgängen greifen alle Arten von Prozessen ineinander, und alle zusammen stellen erst das eigenartige Getriebe der Lebensvorgänge dar.

17. Einer anderen Gruppe von Lebenserscheinungen, nämlich den Vorgängen der Empfindung und des Bewusstseins, müssen wir noch eine besondere Bemerkung widmen. Sie, die wir als die 17. Psychische Erscheinungen.

unmittelbarsten Quellen aller Erkenntnis kennen gelernt haben, können auch selbst zum Gegenstand der Erforschung gemacht werden. Dabei sind wir zunächst ausschließlich auf die Selbstbeobachtung angewiesen. Dass ähnliche Vorgänge auch bei anderen Lebewesen vorkommen, erfahren wir auf Umwegen durch wenige und unvollkommene Mittel. Auf Empfindungs- und Bewusstseinsvorgänge bei anderen Lebewesen schließen wir oft aus Erscheinungen, welche als „physische" Vorgänge auf unsre Sinnesorgane einwirken und dann wie alle anderen Naturvorgänge wahrnehmbar sind, Veränderungen im Gesichtsausdruck, Bewegungen, Schreien u. s. w. Durch diese Begleiterscheinungen werden wir veranlasst, das Vorhandensein solcher Vorgänge, wie wir sie aus der Selbstbeobachtung kennen, auch bei anderen Menschen und Tieren zu vermuten. Genauer werden wir von ihnen, soweit es sich um andre Menschen handelt, durch unmittelbare Mitteilung mit Hilfe der Sprache unterrichtet. Aus der Vergleichung dieser Mitteilungen mit den eigenen Bewusstseinszuständen und aus der Beobachtung jener Begleiterscheinungen setzt sich das zusammen, was wir über die Vorgänge der Empfindung und des Bewusstseins wissen.

Man hat diese Vorgänge als psychische oder Seelenvorgänge ganz von den anderen Naturerscheinungen getrennt und ihre Untersuchung einem Zweige der Philosophie zugewiesen, welchen man als Psychologie bezeichnet. Wir müssen aber unterscheiden zwischen dem rein Thatsächlichen der Erscheinungen und den Spekulationen über dieselben. Die Fragen nach dem Wesen der Seelenvorgänge sind ebenso wie die über das Wesen der sogenannten Materie (als der vermeintlichen Grundlage der objektiv wahrnehmbaren Vorgänge) metaphysische Fragen und gehören in das Gebiet der Philosophie. Die Thatsachen der Bewusstseinsvorgänge aber gehören ebenso zu den Lebenserscheinungen wie alle anderen, an irgend einem Lebewesen durch Vermittelung der Sinne wahrnehmbaren äußeren Erscheinungen, wie Bewegung, Herzschlag u. dergl. Der Physiologe kann sich ihrer Untersuchung um so weniger entziehen, als zu ihrem Zustandekommen Organe des Körpers, Sinnesorgane und Nerven, mitwirken, über deren Eigenschaften Auskunft zu geben ihm obliegt. Man hat deshalb diesen thatsächlichen Teil unter der Bezeichnung physiologische Psychologie von der spekulativen oder metaphysischen Psychologie getrennt und entweder selbständig als eine Art von Zwischengebiet zwischen Physiologie und Philosophie oder auch als Teil der ersteren behandelt. Da die Forschungsmethoden in diesem Zweige des Wissens zu einem Teil rein naturwissenschaftliche, der Physiologie entlehnte sind, so ist es ganz natürlich, dass Physio-

logen und physiologisch vorgebildete Forscher am meisten zum Ausbau des Gebiets beigetragen haben.

Da die Bewusstseinsvorgänge die einzige Quelle sind, durch welche wir auch von den Vorgängen der Außenwelt Kenntnis erlangen, so ist die genaue Erforschung des Zusammenhanges zwischen beiden Reihen von Vorgängen von der größten Wichtigkeit für die richtige Deutung unserer Erfahrungen über die Naturvorgänge überhaupt. Es ist allgemein bekannt, dass wir in unseren Wahrnehmungen nicht selten Irrungen ausgesetzt sind. Ich erinnere nur an das große Gebiet der optischen Täuschungen. Indem wir die Art und Weise studieren, wie unsere Sinnesempfindungen zu stande kommen, wie aus ihnen Bewusstseinsvorgänge und aus diesen Wahrnehmungen entstehen, erhalten wir erst den kritischen Maßstab, den wir an unsere Erfahrung anzulegen haben, um aus ihnen das, was objektiv wahr ist, von dem nur subjektiv Wahren auszusondern. Aus jenem entwickelt sich unsere Kenntnis von den objektiven Naturvorgängen. Die Erfahrungen über die Bewusstseinszustände selbst und die mit ihnen verbundenen „inneren Wahrnehmungen“ dagegen bilden den Inhalt der Psychologie.

Zweites Kapitel.

Die logischen Grundlagen der Naturwissenschaften.

1. Urteile.

1. Alle unsere Kenntnis von den Naturobjekten und ihren Eigenschaften beruht, wie wir gesehen haben, auf Erfahrungen, die wir mittels unserer Sinnesempfindungen machen. Den Ausdruck einer solchen Erfahrung durch die Sprache nennen wir ein Urteil. Die Worte, aus denen sich die Sprache zusammensetzt, sind Namen oder Bezeichnungen für bestimmte, in unserer Vorstellung vorhandene Begriffe oder Begriffskomplexe. Wenn wir z. B. sagen: diese Rose ist rot, so wollen wir damit ausdrücken, dass einem bestimmten Dinge, welchem wir auf Grund gewisser, uns schon aus früheren Erfahrungen bekannter Eigenschaften (Gestalt, Geruch u. s. w.) den Namen „Rose" geben, außerdem noch auf Grund unserer jetzigen Empfindung eine neue Eigenschaft beizulegen sei, welche wir, ebenfalls auf Grund früherer Erfahrungen, mit dem Namen „rot" bezeichnen.

Wir sehen hieraus, wie kompliziert der scheinbar so einfache Vorgang ist, durch welchen wir zu dem Urteil, „die Rose ist rot", gelangen.

Einfache Urteile sind immer nur die, welche etwas über das Vorhandensein einer unmittelbaren Empfindung aussagen. Von solchen Empfindungen bleiben in unserer Erinnerung Rückstände haften, und aus diesen bilden sich Vorstellungen von mehr oder weniger allgemeinen Begriffen, welche wir mit bestimmten Namen (in unserem Falle „Rose" und „rot") bezeichnen. Diese sind entweder Namen von Dingen (Rose) oder von Eigenschaften (rot), und das Urteil besteht darin, dass wir auf Grund unserer jetzigen unmittelbaren Empfindung veranlasst sind, auszudrücken, dass dem Ding (außer den durch den Namen „Rose" schon ausgedrückten Eigenschaften) auch noch die Eigenschaft „rot" zukomme.

2. Wahre und falsche Urteile.

2. Trotz dieser Beziehungen zu früheren, in unserer Erinnerung vorhandenen Vorstellungen bleibt ein solches Urteil der Ausdruck einer einzelnen Erfahrung, die wir eben gemacht haben. Die

früheren Erfahrungen haben nur dazu gedient, die allgemeinen Begriffe „Rose“ und „rot“ zu bilden. Dass beide in dem jetzigen Falle zusammen gehören, ist Gegenstand der neuen Erfahrung. Der Satz, in welchem diese neue Erfahrung Ausdruck findet, kann daher als ein Einzelurteil bezeichnet werden. Manche von solchen Einzelerfahrungen machen wir selten, vielleicht nur einmal in unserem Leben, andere dagegen öfter in gleicher oder doch in vielen Stücken gleicher Weise. Die Ergebnisse solcher wiederholter Erfahrungen drücken wir in Urteilen von etwas allgemeinerem Charakter aus, z. B. Viele Rosen sind rot; oder: Rosen sind Blumen, welche gut riechen. Es fragt sich, wie weit wir berechtigt sind, etwas über den Geruch der Rosen im allgemeinen, d. h. wenn wir keine Einschränkung gemacht haben, aller Rosen auszusagen, da wir doch unmöglich alle Rosen auf ihren Geruch hin untersucht haben können. In der That ist das Urteil in dieser allgemeinen Form nicht richtig; es giebt auch Rosen, die keinen merkbaren oder einen von ihren Artgenossen ganz verschiedenen Geruch haben; mir ist z. B. eine schöne gelbe Rose bekannt, welche einen ausgesprochenen, aber nichts weniger als angenehmen Geruch besitzt.

Es giebt also richtige und falsche Urteile. Falsche Urteile sind in der Regel solche, welche sich nicht auf eine einzelne, gegenwärtig vorhandene Empfindung allein stützen.

Wenn ich sage, diese Blume hat keinen Geruch, so kann dies unter Umständen auch falsch sein. Vielleicht habe ich einen Schnupfen und bin daher augenblicklich außer stande, den Geruch, welcher für andere Menschen ganz ausgeprägt sein kann, wahrzunehmen. Das Urteil ist daher nur subjektiv richtig; für mich in meinem jetzigen Zustand ist der Geruch nicht wahrnehmbar. Aber der Umstand, dass andere ihn wahrnehmen, wird mich auf die Vermutung bringen, dass dies an mir, d. h. an einem Mangel meiner Empfindung, liegt. Anders aber ist es mit allgemeineren Urteilen. Wenn diese falsch sind, so kann das zuweilen auch an einem Mangel der gegenwärtigen oder der vorhergegangenen Erfahrungen liegen, vielfach aber daran, dass wir aus an sich richtigen Erfahrungen unrichtige Schlüsse ziehen. Wir machen dann einen logischen Fehler. Es ist daher notwendig, dass wir die Regeln der Logik kennen und beachten, um uns vor falschen Schlüssen zu sichern.

Es könnte nach dem Vorhergehenden scheinen, als ob ein aus einer Anzahl gleichartiger Erfahrungen abgeleitetes allgemeineres Urteil nur dann Anspruch auf vollkommene Richtigkeit machen könne, wenn wir alle Einzelfälle wirklich beobachtet hätten. Das wird natürlich nur in einer sehr kleinen Zahl von Fällen möglich sein. Wenn ein Gartenbesitzer sagt: alle in meinem Garten wach-

senden Rosen sind wohlriechend, so können wir dieses Urteil in seiner Beschränkung auf die endliche Zahl der in diesem Garten wachsenden, dem Besitzer bekannten Rosen, vorausgesetzt, dass der Mann mit gesunden Sinnen ausgerüstet ist und auch sonst Anspruch auf Glaubwürdigkeit hat, für richtig halten. Urteile über Naturobjekte oder Naturvorgänge, bei denen eine solche Einschränkung nicht ausgesprochen ist, würden dagegen immer nur einen bedingten Grad von Wahrheit beanspruchen. Wir müssten ihnen von Rechts wegen immer einen Zusatz geben etwa von der Form: „soweit unsere bisherige Erfahrung reicht."

Eine nähere Betrachtung zeigt ferner, dass Urteile, welche auf Untersuchung aller Einzelfälle beruhen, keine Erweiterung unseres Wissens über das hinaus, was uns die Einzelfälle gelehrt haben, darstellen.

Wenn ich finde, dass von 10 oder 100 von mir untersuchten Rosen Rose 1 wohlriechend ist, ebenso Rose 2, Rose 3 u. s. f. bis zur letzten, und wenn ich dann alle diese Einzelerfahrungen in dem allgemeineren Satze zusammenfasse: alle diese Rosen sind wohlriechend, so habe ich damit nur kürzer ausgesprochen, was ich vorher schon wusste. Die Kürze des Ausdrucks, welche die Sprache durch den Gebrauch solcher Bezeichnungen wie „alle diese" gestattet, ist für die Verständigung im täglichen Leben und in der Wissenschaft von großem Wert. Aber neue Wahrheiten werden durch Urteile von dieser Form nicht gewonnen. Es fragt sich also, ob es überhaupt möglich ist, aus einer Anzahl von Einzelurteilen, die durch Erfahrung gewonnen wurden, zu einem allgemeineren Urteil zu gelangen, welches mehr besagt als die Summe der einzelnen Urteile. Wir haben zu untersuchen, unter welchen Umständen eine solche Verallgemeinerung statthaft ist, unter welchen Bedingungen die so gewonnenen Urteile Anspruch auf Glaubwürdigkeit haben.

3. Assoziation der Vorstellungen.

3. Die Wahrnehmungen, aus denen sich unsere Erfahrung aufbaut, sind selten einfach. Eine Rose, die wir betrachten, macht gleichzeitig Eindruck auf verschiedene unserer Sinne; sie hat eine bestimmte Gestalt und Farbe, sie hat Geruch, ihre Blumenblätter fühlen sich weich an und sind biegsam, während die am Stiel vorhandenen Dornen hart und spitz sind. Dies und anderes, was wir bei der aufmerksamen Betrachtung an dem Gegenstande wahrnehmen und was wir seine „Eigenschaften" nennen, prägt sich unserem Gedächtnis ein, aber nicht jede Eigenschaft einzeln, sondern alle zusammen in derjenigen Kombination, in welcher sie wiederholt wahrgenommen worden sind. Die Gesamtheit dieser Erinnerungen bildet eine sogenannte Assoziation. Das hat zur Folge, dass, wenn

die Erinnerung an eine oder einige dieser Wahrnehmungen wieder auftaucht, auch die anderen, mit ihr assoziierten Vorstellungen zugleich erwachen.[1]) Es genügt z. B., dass wir nur an den Geruch der Rose denken (d. h. genau gesprochen, dass die Vorstellung von dieser besonderen Art der Empfindung uns zum Bewusstsein kommt), damit sofort auch das Bewusstsein der ganzen Kette assoziierter Vorstellungen: Form, Farbe, Dornen u. s. w. in uns erwacht.

Je öfter wir eine bestimmte Reihe von Einzelempfindungen, in einer und derselben Weise miteinander verbunden, gehabt haben, desto fester wird die Assoziation zwischen ihnen. Darum besteht die festeste Assoziation zwischen den immer oder doch sehr häufig miteinander verbundenen Eigenschaften eines und desselben Objektes. Ein Mensch, den wir gut kennen, hat eine große Anzahl von uns bekannten Eigenschaften; einzelne teilt er mit anderen Menschen, andere sind ihm so speziell eigen, dass wir durch sie ihn von anderen Menschen unterscheiden. Es genügt daher, dass wir die Stimme oder auch nur den Schritt dieses Menschen hören, um sofort an die ganze Persönlichkeit erinnert zu werden, ihn uns ganz vorstellen zu können, noch ehe er das Zimmer betreten hat. Objekten, welche eine große Zahl von Eigenschaften gemeinsam haben, entsprechen gemeinsame Assoziationen. Die zu diesen gehörigen Vorstellungen werden die Begriffe der Objekte genannt. Versucht man den Inhalt dieser Begriffe durch Worte darzustellen, so erhält man die Definitionen der Begriffe. Gute Definitionen, in denen die wesentlichen Eigenschaften richtig gekennzeichnet sind (unter Übergehung der minder wesentlichen), sind für die Verständigung durch die Sprache und insbesondere für die Überlieferung wissenschaftlicher Erkenntnis von grossem Nutzen.

Auch die Vorstellungen verschiedener Dinge oder verschiedener Erscheinungen können miteinander assoziiert sein. Das ist immer der Fall, wenn wir sie oft nebeneinander oder kurz nacheinander wahrgenommen haben,[2]) oder wenn sie eine größere Zahl von Eigenschaften miteinander gemein haben. Da alle zu einer Klasse gehörigen Dinge eine Reihe von gemeinsamen Eigenschaften haben (z. B. alle Rosen, alle Blumen, alle Pflanzen), so besteht in unseren

[1]) Eine eingehendere Besprechung der Assoziationen, welche bei allen unseren Wahrnehmungen eine wichtige Rolle spielen, muss der Physiologie der Sinne und der Psychologie überlassen werden.

[2]) Zuweilen bildet sich eine feste Assoziation zwischen zwei Vorstellungen auch schon auf Grund einer einmaligen Erfahrung, wenn die Eindrücke auf unsere Sinne besonders starke waren. Eine Feuersbrunst z. B., welche ein Kind erlebt hat, verschmilzt in seinen Vorstellungen derart mit geringfügigen, dabei vorgekommenen zufälligen Begleiterscheinungen, dass noch nach vielen Jahren die Erinnerung an diese sofort die Erinnerung an jene wachruft.

Vorstellungen eine Anzahl von Assoziationen für diese gemeinsamen Eigenschaften. Daher kommt es, dass der Anblick einer Rose sehr leicht die allgemeinere Vorstellung von Blumen überhaupt hervorruft. Auch beruht hierauf die Möglichkeit, eine ganze Reihe von Einzeldingen, welche zu einer Klasse gehören, d. h. welche eine Anzahl gemeinsamer Eigenschaften haben, mit einem Namen (Kollektiv- oder Gemeinnamen) zu bezeichnen. Alles, was hier von Dingen und ihren Begriffen gesagt worden ist, gilt in gleicher Weise auch von Ereignissen oder Vorgängen.[1])

Haben sich solche Assoziationen einmal ausgebildet, so besteht in uns eine gewisse Disposition, vermöge welcher bei Wahrnehmung des einen Dinges oder der einen Erscheinung sofort auch die assoziierten Vorstellungen in uns erweckt werden. Wir können dies auch so ausdrücken, dass wir sagen: wenn wir das eine wahrnehmen, so erwarten wir, auch das andere wahrzunehmen. In vielen Fällen wird unsere Erwartung auch erfüllt; wenn sie aber einmal getäuscht wird, sind wir überrascht und verwundert. Das Sprichwort: Wo Rauch ist, da ist auch Feuer, ist ein gutes Beispiel für diese unsere Geistesdisposition. Wir haben in der That diese beiden Erscheinungen so oft zusammen beobachtet, dass wir die erstere nicht sehen können, ohne auch die zweite zu erwarten.

4. Folgerichtigkeit der Erscheinungen.

4. Damit solche Assoziationen unserer Vorstellungen sich überhaupt ausbilden können, ist es notwendig, dass gewisse Erscheinungen oder Vorgänge öfter in vollkommen oder doch wenigstens in vielen Stücken gleicher Weise ablaufen. Wie Rauch und Feuer, wie Blitz und Donner, so kommen noch andere Erscheinungen zusammen oder nacheinander in gleicher Verknüpfung oft zur Wahrnehmung. Einerseits also sind es gewisse Eigenschaften, welche sich immer und immer wieder in bestimmter Kombination an bestimmten Objekten oder Dingen zeigen, andererseits sind bestimmte Erscheinungen in unserer Vorstellung innig miteinander verknüpft oder, wie wir sagten, assoziiert. Eisen ist schwer, es wird im Feuer glühend und kann dann leichter als im kalten Zustand gebogen oder gehämmert werden; Holz ist leichter als Eisen, kann gespalten, gehobelt, gesägt oder zerbrochen werden; im Feuer dagegen wird es verzehrt, es verbrennt.

[1]) Die Möglichkeit der Verständigung durch die Sprache selbst beruht auf der Assoziation zwischen der Vorstellung von einem Dinge, d. h. der Summe aller seiner uns bekannten Eigenschaften, und der Vorstellung von dem Wort, d. h. der Erinnerung an eine bestimmte Folge von Geräuschen und Klängen, durch welche wir jene Summe von Eigenschaften des Dinges zu bezeichnen gewöhnt sind. Das Erlernen der Sprache kommt dadurch zu stande, dass wir das Ding und das Wort so oft zusammen wahrgenommen haben, dass sich eine feste Assoziation zwischen beiden Vorstellungen gebildet hat. Beim Lesen ist die Folge der hörbaren Zeichen durch eine entsprechende Reihe sichtbarer Zeichen ersetzt.

Solche und viele andere ähnliche Aussagen könnten wir nicht machen, wenn wir nicht die betreffenden Wahrnehmungen sehr oft in übereinstimmender Weise gemacht hätten. Wir kommen dadurch zu der Überzeugung, dass gewisse Eigenschaften immer in bestimmter Weise miteinander verbunden vorkommen, dass die verschiedenen Dinge durch diese ihnen zukommenden Eigenschaften kenntlich seien, dass zwischen gewissen Vorgängen feste Beziehungen bestehen, derart, dass sie entweder nebeneinander vorkommen oder in bestimmter Weise aufeinander folgen. Nur auf Grund dieser Überzeugung können wir es für möglich halten, die Beziehungen, welche zwischen den Dingen und den Erscheinungen bestehen, zu erforschen. Diese Beziehungen machen den Inhalt der Naturwissenschaften aus.

Wir drücken dies wohl auch so aus, dass wir sagen, die Vorgänge der Natur verlaufen folgerichtig oder gesetzmäßig, und es sei Aufgabe der Naturwissenschaft, die Gesetze dieses Verlaufs zu erforschen. Manche halten diesen Satz für ein Axiom, d. h. für eine Wahrheit, die keines Beweises bedürfe, weil sie sich von selbst verstehe. Von ihrer Richtigkeit sei jeder Mensch von selbst überzeugt infolge einer dem menschlichen Geist innewohnenden, angeborenen Eigenschaft. Wahrheiten dieser Art bezeichnet man als aprioristische. Es ist hier nicht der Ort, zu untersuchen, ob es aprioristische Erkenntnis überhaupt geben kann. Nach dem früher Gesagten können wir den Satz, dass die Naturvorgänge folgerichtig oder gesetzmäßig verlaufen, sehr wohl als einen auf vielfacher Erfahrung beruhenden ansehen. Häufig wiederkehrende Beobachtung hat uns so oft gezeigt, dass die Vorgänge ebenso verlaufen, wie sie verlaufen müssen, wenn feste Beziehungen zwischen ihnen bestehen, dass wir an der absoluten Richtigkeit jenes Satzes nicht mehr zweifeln. Wenn wir aber, auf diese Überzeugung gestützt, in einem besonderen Falle behaupten, dass ein Vorgang in derselben Weise ablaufen werde, wie er in früheren ähnlichen Fällen abgelaufen ist, so gehen wir über den Inhalt unserer wirklichen Erfahrung hinaus. Wir ziehen einen Schluss aus einer oder mehreren Erfahrungen auf Fälle, welche wir nicht erfahren haben, von denen wir aber annehmen, dass, wenn sie in den Bereich unserer Erfahrung kommen, sie gerade so und nicht anders verlaufen werden, als es unserer bisherigen Erfahrung entspricht.

5. Induktionsschlüsse.

5. Ein solcher Schluss aus gemachten Erfahrungen auf gleiche, noch nicht erfahrene Fälle heißt ein Induktionsschluss. Ein Induktionsschluss bezieht sich nicht selten auf Ereignisse, welche erst in der Zukunft eintreten sollen, er enthält dann eine Voraussage über zu erwartende Ereignisse [1]). Eine der geläufigsten Vorstellungen

[1]) Eine solche Voraussage ist nicht zu verwechseln mit einer Prophe-

von gesetzmäßiger Aufeinanderfolge von Ereignissen ist die des regelmäßigen Wechsels von Tag und Nacht. Nicht nur wir haben, solange die Erinnerung unseres Lebens reicht, diese Erfahrung immer und immer wieder gemacht, wir wissen es auch durch bündige Zeugnisse von unseren Vorfahren, soweit überhaupt die Erinnerung, nicht eines einzelnen Menschen, vielmehr der ganzen Menschheit reicht. So zweifeln wir denn auch nicht im geringsten daran, dass auch der heutige Tag zu Ende gehen und von Nacht gefolgt werden wird, und dass auf diese Nacht wieder ein Tag, auf diesen Tag wieder eine Nacht und so immer weiter folgen werden.

Gewiss ist eine solche Häufung der Fälle schon gemachter, untereinander gleichartiger Beobachtungen von Bedeutung für den Grad der Zuverlässigkeit eines Induktionsschlusses. Niemand wird darüber in Zweifel sein, dass er einem Schluss, der auf tausend oder zehntausend gleichartigen Erfahrungen beruht, eher vertrauen kann, als einem Schluss, der nur auf zehn oder nur auf drei Erfahrungen aufgebaut ist. Aber die Zahl der Erfahrungen kann doch nicht allein maßgebend sein. Auch ein aus wenigen Fällen abgeleiteter Schluss kann einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit annehmen. Für die Beurteilung dieser Wahrscheinlichkeit fällt es sehr ins Gewicht, ob alle bisher beobachteten Fälle durchaus übereinstimmen, insbesondere ob, trotz darauf gerichteter Aufmerksamkeit, kein einziger entgegenstehender Fall beobachtet worden ist. Aber, selbst wenn dies zutrifft, ist eine so gewonnene Überzeugung noch keine wissenschaftliche Wahrheit. Denn selbst eine sehr große Zahl von übereinstimmenden Fällen kann nicht die Gewissheit geben, dass uns nicht morgen oder übermorgen ein Fall begegnen werde, welcher unserer bisherigen Erfahrung widerspricht.

Einige Beispiele mögen dies erläutern:

Jahrzehnte, ja Jahrhunderte hindurch waren alle Naturforscher der Überzeugung, dass alle Säugetiere lebendige Junge zur Welt bringen. Das heißt mit anderen Worten, es war ein allgemein giltiger, durch zahlreiche Einzelerfahrungen immer wieder bestätigter Lehrsatz, dass Tiere, welche eine Anzahl gemeinsamer Eigenschaften besitzen als da sind: eine ausgebildete Wirbelsäule, die sich nach vorn zu einem Schädel erweitert, ein in dieser Wirbelsäule liegendes Centralnervensystem, ein ausgebildetes Gefäßsystem mit einem aus vier Abteilungen bestehenden Herzen u. s. w., auch darin übereinstimmen, dass ihre Jungen innerhalb des mütterlichen Körpers die ersten Stadien ihrer Entwickelung durchmachen und erst

zeihung; letztere ist nicht auf einem Induktionsschluss begründet, sondern auf einer Art von Intuition oder auf einer vermeintlichen besonderen Begabung des Prophezeienden, vermöge derer er die Zukunft zu „weissagen“ vermag. Sie fällt gänzlich außerhalb des Rahmens naturwissenschaftlicher Betrachtungen.

nach Erlangung einer den erwachsenen Tieren ähnlichen Form geboren werden. Nun wurde aber im Jahre 1884 nachgewiesen, dass dies für die Monotremen nicht zutrifft, dass diese Tiere, welche nach ihrem sonstigem Bau als Säugetiere angesehen werden können, Eier legen, die sich außerhalb des Mutterleibes entwickeln, ähnlich wie dies bei den Vögeln und anderen Wirbeltieren der Fall ist[1]).

Im Jahre 1856 entdeckte AUGUST MÜLLER in Berlin, dass der sogenannte Querder (*Ammocoetes branchalis*), welchen man bis dahin für ein selbständiges Tier gehalten hatte, die Larve der Neunauge (*Petromyzon Planeri*), eines Fisches aus der Klasse der Rundmäuler (Cyclostomen), ist. Die Neunauge lebt sehr verbreitet in Flüssen und Bächen Deutschlands, laicht im April und geht dann zu Grunde. Aus ihren Eiern entstehen Querder, welche oft eine Länge von 20—30 cm erreichen, sich aber früher oder später in geschlechtsreife Neunaugen verwandeln, die dann wieder laichen u. s. f. Die Thatsache, dass es freilebende Larven giebt, welche ganz anders aussehen als ihre Eltern und sich dann erst in das geschlechtsreife Tier verwandeln, war damals von anderen Tieren längst bekannt, u. a. auch von den Amphibien (Kaulquappen sind die Larven von Fröschen). Dass sie auch bei Fischen vorkommen könne, wusste man nicht. Als die Entdeckung MÜLLER'S einem damals lebenden, sehr berühmten Naturforscher mitgeteilt wurde, sagte er, das sei Unsinn, Formwechsel könne es bei Fischen nicht geben. Er meinte offenbar, eine so auffallende Thatsache hätte nicht so lange unbemerkt bleiben können. Und doch war dem so. Die Zoologen hatten bis dahin beide Tiere ganz gut gekannt, sie hatten aber nicht bemerkt, dass sich das eine in das andere verwandle.

Es kann nicht Wunder nehmen, dass Entdekungen, welche alte, scheinbar festbegründete Induktionen umstoßen, häufig mit Unglauben aufgenommen werden. Und gewiss ist Vorsicht oder auch Misstrauen gegenüber von Behauptungen, welche bisher giltigen Anschauungen, falls diese wirklich begründet sind (wie es z. B. in Bezug auf das Lebendiggebären bei den Säugetieren in hohem Grade der Fall war) widersprechen, am Platz. Aber dies darf nur dazu führen, die neue Behauptung unbefangen nachzuprüfen, wobei sich dann bald herausstellen wird, ob sie sich bestätigt oder nicht.

---

[1]) Die Entwickelung oder Bebrütung der Eier geht bei einigen Monotremen (*Echidna*) innerhalb einer an der Bauchseite des Muttertiers sich bildenden Hautfalte (des sogenannten Brutbeutels), bei anderen (*Ornithorhynchus*) in Nestern vor sich. Dass die Monotremen Eier legen, war schon früher vermutet, aber ebenso heftig bestritten worden. Im Jahre 1884 fand HAACKE ein Ei im Brutbeutel einer *Echidna* und in demselben Jahre fand CALDWELL die Eier bei *Ornithorhynchus* auf, so dass jetzt die Thatsache als allgemein anerkannt bezeichnet werden kann.

6. Regeln. 6. Wir müssen also bei allen auf Induktion beruhenden Schlussfolgerungen darauf gefasst sein, dass sie durch eine neue Beobachtung umgestoßen werden, oder dass der Umfang ihrer Giltigkeit eingeengt wird. Wir wollen solche Induktionsschlüsse, welche aus einer Anzahl (sei diese groß oder klein) von untereinander übereinstimmenden Einzelbeobachtungen abgeleitet sind, Regeln nennen. In der That sind die Regeln der Grammatik in gleicher Weise aus den Erfahrungen des Sprachgebrauchs gewonnen; das gleiche gilt von den sogenannten Wetterregeln und den aus Erfahrungen des täglichen Lebens abgeleiteten Regeln, welche in Sprichwörtern niedergelegt sind. Ihre bündige, oft witzige Fassung trägt nicht wenig zu ihrer Verbreitung und Überlieferung von Geschlecht zu Geschlecht bei und veranlasst, dass sie bei passenden oder unpassenden Gelegenheiten citiert werden, um festzustellen, dass der gerade vorliegende Fall unter die betreffende allgemeine Regel einzureihen sei. Viele von ihnen sind freilich zu allgemein gefasst, um vollkommen wahr zu sein. Aber trotz aller gegenteiligen Erfahrungen sagen die Menschen doch immer wieder: Wer andern eine Grube gräbt, fällt selbst hinein, oder: Wie's Wetter ist am Medardustag,[1]) bleibt's auch sechs Wochen noch darnach u. s. w. Trifft die Behauptung der Regel im einzelnen Falle nicht zu, so hilft man sich mit der neuen Regel, welche eigentlich alle andern aufhebt: Keine Regel ohne Ausnahme.

Wir müssen deshalb untersuchen, auf welche Weise aus den aus einzelnen Erfahrungsthatsachen abgeleiteten Induktionsschlüssen wirkliche Wahrheiten werden, oder woran man die richtigen Schlüsse erkennen und von falschen oder halbwahren unterscheiden kann. Die aus der Erfahrung gewonnenen Regeln sind offenbar nur das Rohmaterial, aus welchem sich die Wahrheiten der Wissenschaft aufbauen. Nur in den seltensten Fällen wird es möglich sein, alle Einzelfälle, die zu einer bestimmten Klasse gehören, wirklich aus der Erfahrung zu kennen. Und wo dies möglich ist, da enthält, wie wir gesehen haben, das Urteil, welches alle diese Erfahrungen, in einem Satz zusammengefasst, ausspricht, keine neue Erkenntnis, sondern nur eine wegen der Kürze und der leichteren Einprägung wertvolle Vereinfachung des Ausdrucks. Erst da, wo es möglich ist, durch ein logisch zuverlässiges Verfahren von den Regeln zu unanfechtbaren Sätzen zu gelangen, beginnt das Gebiet der Wissenschaft. Eine Kenntnis, die über die Aufstellung von Regeln noch nicht hinausgekommen ist, steckt noch in den Kinderschuhen; sie muss sich erst zu einer wirklichen Wissenschaft auswachsen.

7. Wahrscheinlichkeit der Regeln. 7. Wenngleich die Wahrscheinlichkeit einer Regel mit der Zahl der gleichartigen beobachteten Fälle zunimmt, so ist es doch

[1]) Der 8. Juni.

wissenschaftlich durchaus zulässig, auch aus wenigen, ja sogar aus einer einzigen Beobachtung eine Regel abzuleiten. Wir müssen uns dabei freilich bewusst bleiben, dass ein derartiger Induktionsschluss noch keine wirkliche Wahrheit ist. Er gilt nur in provisorischer Weise, d. h. mit dem Vorbehalt, dass erst weitere Erfahrungen lehren sollen, ob die Regel überhaupt oder ob sie nur mit Abänderungen aufrecht zu erhalten ist. Wird eine solche Regel ohne jenen Vorbehalt ausgesprochen, so liegt dennoch dem so apodiktisch hingestellten Urteil stillschweigend die Annahme zu Grunde, dass, was in dem einen oder den einzelnen beobachteten Fällen gegolten hat, auch in allen gleichartigen Fällen Geltung habe. Derartige Induktionsschlüsse bedürfen also noch einer Bestätigung. Sie können sich auf Eigenschaften von Naturobjekten oder auf Naturvorgänge beziehen. Hat man z. B. zwei Phänomene A u. B gleichzeitig oder kurz nacheinander eintreten sehen, so kann man die Vermutung hegen, dass dieses Zusammentreffen kein zufälliges sei, sondern dass zwischen beiden ein derartiger Zusammenhang bestehe, dass das Phänomen A notwendig von dem Phänomen B begleitet oder gefolgt sein müsse, ähnlich wie wir dies aus der Erfahrung von den beiden Phänomenen Blitz und Donner annehmen. Solange uns nur eine einzelne oder einige wenige Erfahrungen über A und B zu Gebote stehen, bleibt die Vermutung eine vage. Sie ist aber deshalb nicht wertlos. Sie kann zu einem der wirksamsten Hilfsmittel der Erweiterung unserer wissenschaftlichen Erkenntnis werden. Wenn wir vermuten, dass zwischen A und B ein Zusammenhang bestehe, so werden wir unsere besondere Aufmerksamkeit diesen beiden Phänomenen zuwenden. Wir werden nicht nur fortan selbst sorgfältig darauf achten, ob überall, wo eine der beiden Erscheinungen bemerkt wird, auch die andere vorhanden ist; wir werden auch zu erfahren suchen, ob andere zuverlässige Zeugen öfter beide zusammen beobachtet haben. Auf diese Weise wird es gelingen, entweder die Wahrscheinlichkeit unserer Vermutung durch Vermehrung der ihr zu Grunde liegenden Einzelbeobachtungen zu vergrößern oder uns zu überzeugen, dass wir geirrt haben; wir werden in diesem Falle unsere Annahme ohne weiteres aufgeben.

8. Was wir im Vorhergehenden als Vermutung oder Annahme bezeichnet haben, ist also ein Urteil, welches noch nicht auf unbedingte Glaubwürdigkeit Anspruch macht, welches nur einen provisorischen Wert beansprucht. Man nennt solche Urteile hypothetische oder auch kurz Annahmen oder Hypothesen. Wir müssen aber zwei Arten von Hypothesen unterscheiden. Die einen fassen eine Zahl von Einzelurteilen in einem gemeinsamen, allgemeineren Urteil vorläufig zusammen; diese unterscheiden sich von einem

8. Hypothesen.

durch Induktionsschluss gewonnenen Urteil nur allein dadurch, dass die Zahl der ihnen zu Grunde liegenden Einzelfälle zu gering ist, um ihnen den Wert einer wirklichen Überzeugung von der Art zu verleihen, wie es bei den sogenannten aprioristischen Wahrheiten der Fall ist, von denen im § 4 die Rede war. Die zweite Art dagegen, die Hypothesen im engeren und eigentlichen Sinne, macht Annahmen, welche über den Bereich der unmittelbaren oder auch zuweilen jeder möglichen Erfahrung hinausgehen, welche aber unter der Voraussetzung, die Annahme sei richtig, eine größere oder geringere Zahl von Einzelerfahrungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zu bringen oder, wie man sich ausdrückt, zu erklären[1]) gestattet. Solche Hypothesen enthalten also immer eine unbewiesene, zuweilen auch unbeweisbare Annahme. Sie sind, wie wir gleich sehen werden, ein Hilfsmittel, um von den empirischen Regeln zu wertvolleren Urteilen zu gelangen, welche unsren Wissensdrang besser befriedigen. Durch sie erlangen wir eine tiefere Einsicht in den Zusammenhang der Naturvorgänge.

Eine solche Hypothese ist z. B. die Annahme, dass alle Materie aus diskreten, voneinander durch Zwischenräume getrennten, außerordentlich kleinen Teilchen, den Atomen und den aus diesen zusammengesetzten Molekeln, bestehe. Aus dieser Annahme lassen sich alle bekannten Eigenschaften der Materie und die Thatsachen, welche man an ihr beobachtet hat, als logische Folgerungen ableiten. Jeder Naturforscher weiß sehr wohl, dass die reale Existenz der Atome und Molekeln nicht bewiesen ist. Er würde auch die Annahme sofort fallen lassen, wenn irgend eine Thatsache festgestellt würde, welche mit ihr nicht in Übereinstimmung zu bringen wäre, oder wenn eine andere Annahme über die Konstitution der Materie aufgestellt würde, welche sich besser und einfacher zur Darstellung der Thatsachen eignete. Bis dahin aber spricht er von Atomen und Molekeln, als wären es reale Dinge, als könne man sie sehen oder mit Händen greifen. Er weiß, dass seine Fachgenossen ihn richtig verstehen werden[2]).

---

[1]) Was darunter zu verstehen ist, wird später gesagt werden.

[2]) Nicht naturwissenschaftlich Geschulte verkennen diese Sachlage oft. Sie glauben dann wohl auch, die Naturforscher schulmeistern zu dürfen, als machten diese absurde Annahmen ohne allen Grund. Aber selbst, wenn es bewiesen werden könnte, dass es keine Atome gebe (was durchaus nicht der Fall ist), so wäre dennoch das Operieren mit dem Begriff gestattet, wenn dadurch die Darstellung der Thatsachen einfacher und klarer würde. Worauf es ankommt, ist nur, dass der Begriff scharf definiert wird; dann kann er mit Vorteil bei der Darstellung benutzt werden, wie man in der Algebra komplexe Größen durch einen einzelnen Buchstaben bezeichnet, um die Rechnungen einfacher und übersichtlicher zu machen. Näheres über die atomistische Hypothese s. in Kap. 4.

9. Man muss sich von der Bedeutung der Hypothesen klare Rechenschaft geben, um nicht das, wozu sie dienen und was sie bedeuten, misszuverstehen. Gute Hypothesen sind von großem Nutzen für die Wissenschaft. Sie erleichtern nicht nur die Darstellung der schon bekannten, sondern sie führen auch zur Auffindung neuer Thatsachen. Indem man aus einer Hypothese logische Folgerungen zieht und diese an der Erfahrung prüft, zeigt sich, ob die Hypothese haltbar ist oder durch eine andere Annahme ersetzt werden muss. Gelingt es aber, nicht nur die Brauchbarkeit der Hypothese darzuthun, sondern kann man auch nachweisen, dass jede andere Annahme zu Folgerungen führt, welche mit den Thatsachen in Widerspruch stehen, dann hört die Hypothese auf, eine Hypothese zu sein. Dann ist sie bewiesen und kann als kurzer und bündiger Ausdruck der Thatsachen in den Schatz der Wissenschaft eingereiht werden. Wir werden auf diese wichtige Bedeutung der Hypothesen bei der Besprechung der Methoden der Forschung zurückkommen. Gesetze.

Das Gleiche wie von den Hypothesen gilt von den durch Induktion gewonnenen Regeln. Auch aus ihnen können auf logischem Wege Folgerungen abgeleitet werden, und dann kann der Versuch gemacht werden, festzustellen, ob diese Folgerungen mit den Erfahrungen übereinstimmen. Ist dies der Fall, so wird damit die Richtigkeit der Regel wesentlich gestützt; sie gewinnt an innerer Wahrscheinlichkeit. Können wir aber nachweisen, dass jede andere Annahme zu Folgerungen führt, welche mit der Erfahrung in Widerspruch stehen, so haben wir es nicht mehr mit einer Regel oder einer Hypothese zu thun. An ihre Stelle tritt dann etwas, welchem ein viel höherer wissenschaftlicher Wert zukommt. Die Richtigkeit der bis dahin nur empirisch gewonnenen Regel, des aus ihr gezogenen Induktionsschlusses oder der von uns gemachten Hypothese ist dann bewiesen. An die Stelle der Wahrscheinlichkeit ist Wahrheit getreten. Derartig sowohl direkt als indirekt (d. h. durch Nachweis der Unrichtigkeit jeder anderen Annahme) bewiesene Sätze wollen wir zum Unterschied von den Regeln Gesetze nennen.

Als Beispiel für die Ableitung von Gesetzen aus beobachteten Thatsachen und Hypothesen kann das Gravitationsgesetz von NEWTON dienen. Nachdem KEPPLER die Bewegungen der Planeten sorgfältig beobachtet und ihre Bahnen und Geschwindigkeiten mit einer bis dahin nicht erreichten Genauigkeit in seinen bekannten drei „KEPPLER'schen Gesetzen“ [1]) festgestellt hatte, zeigte NEWTON, dass diese Gesetze ab-

[1]) Die KEPPLER'schen Gesetze gehören in die Klasse der „empirischen Gesetze“, von denen im folgenden Kapitel die Rede sein wird. Ihrem logischen Wert nach fallen sie mit dem zusammen, was wir Regeln genannt haben.

geleitet werden können aus der Annahme einer Anziehung, welche in der Richtung der geraden Verbindungslinie der Körper wirkt und deren Intensität proportional dem Quadrat der Entfernung der aufeinander wirkenden Körper gesetzt wird. Das war eine Hypothese. Er zeigte aber weiter, dass aus dieser Annahme nicht nur alle beobachteten Erscheinungen der Planetenbewegung sich ableiten lassen, sondern dass auch die Annahme, die Anziehung wirke nicht in jener Richtung, sondern in irgend einer anderen, zu Folgerungen führe, welche den Beobachtungen widersprechen. Damit war also nicht nur die Zulässigkeit seiner Annahme bewiesen, sondern letztere hörte auf, eine reine Hypothese zu sein, sie wurde ein Gesetz. Er zeigte dann, dass sich aus dieser Annahme auch alle diejenigen Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen, welche GALILEI über das Fallen von Körpern auf der Erde und die Bewegung der Pendel festgestellt hatte. Das NEWTON'sche Gravitationsgesetz hat in der That für alle zwischen irgend welchen Naturkörpern stattfindenden Anziehungen und daraus folgenden Bewegungen Geltung.

10. Kausalitätsgesetz.

10. Das Gravitationsgesetz ist ein durchaus richtiger Ausdruck aller in sein Gebiet einschlagenden Thatsachen; es ist als richtig bewiesen, weil alle aus ihm abzuleitenden Folgerungen mit den Thatsachen der Erfahrung übereinstimmen und jede andere Annahme zu Folgerungen führt, welche den Thatsachen widersprechen. Wenn man es aber in der üblichen Form ausspricht, dass alle Körper einander anziehen, wenn man von der Kraft der Körper spricht, vermöge deren sie sich gegenseitig anziehen, wenn man sagt, die Ursache, warum die Körper sich so bewegen, wie es dem Gesetze entspricht, sei die „Anziehung" oder eine den Körpern innewohnende „Kraft", so legt man in den Ausdruck des Gesetzes noch etwas hinein, was über die Darstellung des Thatbestandes hinausgeht. Diese Begriffe sind nicht durch einfache Schlussfolgerung aus den Thatsachen abgeleitet, sondern stammen aus ganz anderen Quellen.

Die Erfahrungen, welche wir an unsern eigenen Empfindungen machen, erwecken in uns die Vorstellung, dass jeder Bewegung eine Art von Antrieb vorausgehe, welchen wir Willen nennen. Dieser sogenannte Wille wird als die Ursache, die ihm folgende Bewegung als die Wirkung jener Ursache bezeichnet. Aus diesen immer und immer wieder in unserem Bewusstsein auftretenden Vorstellungen ist die Überzeugung entstanden, dass überhaupt kein Vorgang stattfinden könne, ohne dass eine „Ursache" für denselben vorhanden sei. Man bezeichnet das als „Kausalitätsgesetz" und stellt als obersten Grundsatz aller naturwissenschaftlichen Betrachtungen auf, dass alles Geschehen in der Natur dem Kausalitätsgesetz folge.

Es könnte scheinen, als ob dieser Satz gleichbedeutend sei mit dem oben in § 4 ausgesprochenen, dass alle Naturvorgänge folgerichtig oder gesetzmäßig verlaufen. Letzterer Satz ist aber nur ein Ausdruck des thatsächlich Beobachteten, er ist ein aus vielfältiger Erfahrung abgeleiteter Induktionsschluss. Das Kausalitätsgesetz dagegen enthält eine Aussage über den Grund dieser Gesetzmäßigkeit; es will, wie man zu sagen pflegt, erklären, warum die Naturvorgänge gesetzmäßig verlaufen. Eine solche „Erklärung" der Ursachen alles thatsächlich Geschehenden wird von vielen als Ziel aller Naturforschung angesehen. Dementsprechend wird es auch häufig als eigentliche Aufgabe der Naturwissenschaft angesehen, die Ursachen allen Geschehens aufzufinden.

Bei allen diesen Betrachtungen legen wir aber etwas in die Naturvorgänge hinein, was lediglich aus subjektiven Erfahrungen unseres Bewusstseins stammt. Ich lege die Feder fort und gehe im Zimmer auf und nieder, weil ich vom Schreiben müde geworden bin. Oder ich gehe ans Fenster, weil ich draußen ein Geräusch gehört habe. Was ich damit ausdrücken will, ist vollkommen klar. Wenn ich aber sage, der Stein falle, weil ihn die Erde anzieht, so will ich damit doch nicht ausdrücken, dass die Erde den bewussten Willen habe, den Stein an sich zu ziehen, etwa wie ich einen Stuhl heranziehe, wenn ich mich setzen will. Wir übertragen also, wenn wir so sprechen, Erfahrungen, welche wir im Gebiete unseres inneren oder Seelenlebens gemacht haben, auf die Vorgänge in der Natur, oder wir sprechen wenigstens so, dass Missverständnisse dieser Art nicht ausgeschlossen sind.

Solche Übertragungen spielen in unseren Anschauungen und Vorstellungen eine große Rolle. Von allen Naturvorgängen sind die Bewegungen sichtbarer Körper der Wahrnehmung durch Sinneseindrücke am leichtesten zugänglich. Deswegen ist es ein natürliches Bestreben, auch andere Vorgänge als Bewegungen aufzufassen, auch wenn wir dieselben nicht unmittelbar wahrnehmen können. In manchen Fällen kann man die Richtigkeit dieser Auffassung darthun, indem man das wirkliche Vorhandensein der angenommenen Bewegungen nachweist (z. B. bei den Schallerscheinungen), in anderen Fällen bleibt die Annahme von Bewegungen eine hypothetische. Die Hypothese ist zweckmäßig und gut, wenn sie gestattet, die betreffenden Erscheinungen richtig, d. h. in vollkommener Übereinstimmung mit den Thatsachen darzustellen. Ist dies nicht der Fall, so bleibt der Vergleich ein oberflächlicher, er kann höchstens als Gleichnis oder Analogie betrachtet werden.

Im Gegensatz zu diesem Beispiel hat die Übertragung von Erfahrungen des Seelenlebens auf Naturvorgänge das Missliche, dass sie

dazu verleitet, in diesen Vorgängen etwas dem menschlichen Bewusstsein, den Trieben u. s. w. Analoges vorauszusetzen. Auf den früheren, auch jetzt noch nicht ganz verlassenen Stufen der Naturbetrachtung führte das zu einer Personifikation der Naturobjekte und der vermeintlichen Urheber der Naturvorgänge. In den Mythologien finden wir den Niederschlag dieser Art von Naturauffassung, in den Spekulationen gewisser philosophischer Systeme findet sich dieselbe Auffassung als Annahme der Beseelung aller Materie. Dem gegenüber kann nicht nachdrücklich genug betont werden, dass wir von den seelischen Funktionen nur so weit etwas erfahren, als sie in uns selbst vor sich gehen und zu unserem Bewusstsein kommen[1]). Die Annahme analoger Vorgänge außer uns bleibt also immer eine unkontrolierbare Hypothese, deren Wahrscheinlichkeit um so niedriger zu schätzen ist, je mehr die Objekte, an denen die Vorgänge stattfinden, von uns verschieden sind.

Die Neigung, die Naturvorgänge nach Analogie der uns durch Selbstbeobachtung geläufigen Vorgänge des Bewusstseins zu beurteilen, die Objekte gleichsam als fühlende, bewusst handelnde und wollende Wesen anzusehen, also zu personifizieren, wird als anthropomorphistische Naturauffassung bezeichnet. Reste dieser Auffassung haben sich noch vielfach in unserer Sprache erhalten. Man spricht von der „Natur", als wäre sie eine Persönlichkeit, etwa eine Göttin, mit Neigungen, Willen u. s. w. „Die Natur" thut dieses und jenes oder thut es nicht. Man denke nur an den früher so beliebten Satz: „natura non facit saltum" und ähnliche Aussprüche. Das Gleiche gilt von den „Kräften"; man denkt sich gleichsam die Dinge beseelt und lässt diese Seelen (nämlich die „Kräfte") handeln, wie wir vermöge unseres „Willens" zu handeln glauben. Es kostet Mühe, sich von dieser anthropomorphistischen Auffassung der Erscheinungen freizumachen; es ist aber notwendig, wenn man die Naturvorgänge unbefangen beurteilen will. Wenn trotzdem von verschiedenen „Kräften" gesprochen wird, gleichsam als seien diese Kräfte Wesen eigener Art, welche in den Dingen wohnen oder, hinter ihnen verborgen, auf sie „wirken", so darf das nur als eine Art von Bildersprache angesehen werden. Es sind Gleichnisse, durch welche die Vorgänge für manchen vielleicht etwas anschaulicher werden, etwa in der Art wie dem Bauer, welcher, als er zum erstenmal eine Lokomotive sah, kopfschüttelnd bemerkte, es stecke doch ein Pferd in ihr[2]).

[1]) Dass die gleichen Vorgänge auch bei anderen Menschen stattfinden, können wir allerdings durch deren Mitteilung erfahren. So wie wir aber weitergehen, fehlen uns die Mittel über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Empfindungen, Bewusstsein u. s. w. etwas Bestimmtes festzustellen.

[2]) Das schließt nicht aus, dass wir das Wort „Kraft" in einem engeren,

Auch das „Kausalitätsgesetz“ verdankt im Grunde genommen der Übertragung von Vorstellungen des Seelenlebens auf Naturvorgänge seinen Ursprung. In Wirklichkeit kennen wir die Ursachen des Geschehens in der Natur nicht und haben auch kein Mittel, sie zu erkennen oder anzugeben, ob ihm überhaupt Ursachen in dem Sinne zu Grunde liegen, wie wir die Motive unseres Handelns als Ursachen dieser Handlungen bezeichnen. Wenn wir sagen, die Ursache des Fallens eines Steines sei die Schwere oder die Anziehung der Erde, so ist damit keine tiefere Einsicht in den Vorgang gewonnen. Es ist nur ein neues Wort für die Erscheinung eingeführt. Alles, was wir von den Naturvorgängen erfahren, ist, dass sie untereinander in bestimmter Weise zusammenhängen. Was wir Erklärung einer Naturerscheinung nennen, ist immer nur der Nachweis des Zusammenhangs dieser Erscheinung mit anderen, uns schon bekannten. Diesen Zusammenhang zu erforschen, die Gesetzmäßigkeiten desselben festzustellen ist die Aufgabe der Naturforschung. Das „rerum cognoscere causas“ muss der Naturforscher bescheidentlich ablehnen. Das gehört nicht zu seinen Aufgaben, weil es mit den Mitteln, über die er verfügt, nicht zu erreichen ist.

In einem andern, weniger dem Missverständnis ausgesetzten und daher auch weniger anfechtbaren Sinne werden die Worte „Ursache“ und „Wirkung“ sehr oft gebraucht, um Beziehungen zwischen Erscheinungen auszudrücken. Wenn ein Physiologe sagt, die Ursache des Blutkreislaufs seien die Herzbewegungen (oder umgekehrt, die Strömung des Blutes in den Gefäßen werde durch die Herzbewegungen bewirkt), so will er damit sagen, die beiden Phänomene ständen in solcher Beziehung zueinander, dass das eine das andere zur Folge habe, oder genauer, dass das eine eine Bedingung für das Zustandekommen des anderen sei. Es handelt sich also auch hier um einen Zusammenhang zwischen zwei Vorgängen. Diesen zu ergründen ist nach unserer Auffassung die wahre Aufgabe der Naturforschung. Näheres über die Arten des Zusammenhangs werden wir in den folgenden Kapiteln erfahren.

11. Ordnung der Erfahrungen.

11. Bisher haben wir immer nur von einzelnen Erfahrungen gesprochen, aus welchen in bewusster Weise Regeln oder Gesetze abgeleitet werden. In der Wirklichkeit vollzieht sich der Prozess selten in dieser einfachen Weise. Lange ehe ein Mensch zu wissenschaftlicher Betrachtung der Natur gelangt, hat er Erfahrungen ge-

genau zu definierenden Sinne in der Mechanik verwenden. In dieser hat es den Begriff einer Größe, mit der man rechnen kann, hat aber die Eigenschaft eines für sich existierenden Wesens, welche den Kräften der früheren Naturphilosophen zukam, abgestreift. Nur gegen diese letztere anthropomorphistische Auffassung wenden sich die obigen Betrachtungen.

macht; aus diesen sowie aus den Mitteilungen anderer haben sich gewisse Anschauungen in ihm festgesetzt. Infolgedessen ist er immer bestrebt, jede neue Erfahrung in seine schon vorgebildete Gedankenreihe einzuordnen. Nicht selten werden so gewonnene Anschauungen hinderlich für die unbefangene Beurteilung des neuen Erfahrungsinhalts, und es kostet häufig große Mühe, sich von ihnen, falls sie sich als irrig erweisen, frei zu machen.

Die neuen Erfahrungen, mögen wir selbst sie machen oder, unter genügender Bürgschaft der Zuverlässigkeit, von anderen durch Mitteilung überliefert erhalten, können von der größten Mannigfaltigkeit sein. Einige reihen sich leicht in die Ordnung uns schon bekannter Erfahrungen ein, andere bleiben vorläufig vereinzelt, weil wir über keine ähnlichen Erfahrungen verfügen, mit denen wir sie zusammenstellen können. Der erstere Fall wird um so häufiger eintreten, je reicher schon unser Vorrat an Kenntnis und Erfahrung ist. Es ist z. B. schon ein gewisser Umfang von Kenntnissen über die elektrischen Erscheinungen notwendig, um auf den Gedanken zu kommen, dass auch das Gewitter eine elektrische Erscheinung sein könne. Je mehr sich unsere Kenntnis ausdehnt, desto besser werden wir alle einzelnen Erfahrungsthatsachen ordnen, die zu einander gehörigen in Reihen zusammenstellen und aus ihnen Regeln und Gesetze ableiten. Ein großer Teil dieser Arbeit ist für uns schon von Anderen gethan worden, und wir haben nur notwendig, für jede neue uns aufstoßende Thatsache[1]) die Reihe zu suchen, in welche sie gehört. Aber wenn wir so immer neue und neue Reihen von Regeln oder Gesetzen bilden, so kann es nicht ausbleiben, dass zwischen diesen Reihen sich wieder Ähnlichkeiten und Beziehungen zeigen, analog denen, welche uns veranlassten, die Einzelfälle in Reihen zusammenzufassen. So entstehen aus einzelnen Regeln und Gesetzen Regeln und Gesetze von allgemeinerem Inhalt. So schließt das Newton'sche Gravitationsgesetz, wie wir gesehen haben, die Keppler'schen Gesetze und die Galilei'schen Fallgesetze in sich ein. So umfasst die Regel, dass alle homoiothermen oder warmblütigen Tiere vier Herzkammern und dementsprechend eine solche Anordnung des Kreislaufs haben, dass alles Blut bei jedem Umgang vollständig durch die Lungen gehen muss, alles ein, was wir in Regeln von geringerem Umfang über die Blutbewegung bei den Säugetieren allein oder den Vögeln allein aussagen könnten. Zugleich aber deutet die Regel in ihrer allgemeinen Fassung darauf hin, dass zwischen der Thatsache der größeren Oxydation, welche zur Erhaltung der Warmblütigkeit erforderlich ist, und der im Ver-

[1]) Dieselbe kann überhaupt neu sein, dann bildet sie eine Entdeckung, oder sie ist nur für uns neu.

gleich zu andern mit Lungen oder mit Kiemen atmenden Tieren vollständigeren Lüftung des Blutes eine Beziehung bestehe.

12. Theorieen und Grundgesetze.

12. Die Ableitung allgemeinerer Gesetze aus schon bekannten Einzelgesetzen erfolgt auf dieselbe Weise wie die Ableitung eines Einzelgesetzes aus den einzelnen Thatsachen, d. h. auf dem Wege der Induktion, unter Umständen durch Aufstellung einer Hypothese und nachherige Prüfung derselben. Um diese umfassenderen Hypothesen von den gewöhnlichen zu unterscheiden, wollen wir sie Theorieen nennen. Wir können nun mit den Theorieen ebenso verfahren wie mit den Hypothesen. Wir ziehen aus ihnen Schlüsse und prüfen die aus ihnen sich ergebenden Folgerungen an der Erfahrung. Ergiebt sich, dass diese Folgerungen mit der Erfahrung übereinstimmen, so ist die Theorie brauchbar. Können wir außerdem zeigen, dass alle anderen Annahmen zu Folgerungen führen, welche mit den Thatsachen nicht übereinstimmen, so halten wir die in der Theorie enthaltene Annahme für bewiesen. Wir gelangen auf diesem Wege zu Gesetzen von allgemeinerem Inhalt, welche wir zum Unterschied von den Spezialgesetzen Grundgesetze nennen wollen. Wir können also folgendes Schema aufstellen:

1. Regel, Zusammenfassung einer Anzahl Erfahrungsthatsachen; rein empirisch gewonnen.

   Hypothese, entweder ein Induktionsschluss, welcher das in der Regel Ausgesagte, für eine beschränkte Anzahl von Fällen Giltige auch für alle anderen gleichartigen Fälle als giltig annimmt, oder eine Hilfsannahme, welche gestattet, eine Anzahl von Einzelthatsachen in einem allgemeineren Urteil zusammenzufassen.

   Wird die Richtigkeit des Induktionsschlusses oder der Hypothese (direkt und indirekt) durch Übereinstimmung ihrer Folgerungen mit der Erfahrung bewiesen, dann werden sie zu einem

   Gesetz (Spezialgesetz), welches alle Thatsachen innerhalb eines beschränkten Bereichs umfasst.

2. Generelle Gesetze, Zusammenfassung mehrerer Einzelregeln oder Gesetze, also aller in diesen enthaltenen Thatsachen, rein empirisch, nicht bewiesen;

   Theorie, Annahme zu dem Zweck, mehrere Gesetze in allgemeinerer Form zusammenzufassen;[1]) sie kann durch Beweis übergehen in ein

[1]) Der Unterschied zwischen Theorie und Hypothese liegt nach unserer Definition nur in dem umfassenderen Geltungsbereich der ersteren. Der Sprachgebrauch ist in dieser Beziehung unsicher, so dass häufig von manchen das Theorie genannt wird, was andere Hypothese nennen, und umgekehrt. Festzuhalten ist,

Grundgesetz, welches eine größere Zahl scheinbar ganz disparater Thatsachen umfasst und als bewiesen gelten kann.

Jede Wissenschaft setzt sich aus diesen Elementen zusammen. Je mehr die Theorieen und Grundgesetze über die Hypothesen und Spezialgesetze überwiegen, desto vollkommener und ausgebildeter ist die Wissenschaft. Aber selbst in den am weitesten vorgeschrittenen fehlen die Hypothesen nicht, und einzelne Thatsachen wird es auch in ihnen geben, die noch nicht in das System eingefügt werden können. Häufig sind einzelne Kapitel einer Wissenschaft schon weit vorgeschritten, während andere erst auf dem Zustand des Sammelns von Thatsachen, Aufstellens von empirischen Regeln angelangt sind und eine Fülle von noch nicht bewiesenen, noch nicht zu Gesetzen gewordenen Hypothesen aufweisen. Wissenschaften, in denen ein großer Teil ihres Inhaltes in Gesetzen, Theorieen und Grundgesetzen zusammengefasst werden kann, pflegt man als exakte von anderen, deren Inhalt noch mehr in der Aneinanderreihung einzelner Thatsachen oder gewonnener Regeln besteht, zu unterscheiden. Doch ist immer festzuhalten, dass alle Naturwissenschaften auf der Erfahrung als alleiniger Grundlage beruhen. Die sogenannten exakten Naturwissenschaften sind nur dadurch ausgezeichnet, dass man in ihnen zur Aufstellung von Theorieen und Grundgesetzen gelangt ist, aus denen man eine größere Anzahl von Einzelthatsachen durch rein logische Operationen ableiten kann. Aber alle diese Theorieen und Gesetze selbst sind aus Einzelerfahrungen gewonnen worden. Ihr hoher Wert besteht darin, dass sie die Summe aller Erfahrungen übersichtlich in kurzen, einfachen Sätzen zum klaren Ausdruck bringen.

13. Deduktion.

13. Die durch Induktion aus den Thatsachen abgeleiteten

---

dass in jeder Theorie immer ein unbewiesener Rest, also etwas Hypothetisches, steckt. Die Undulationstheorie des Lichtes z. B. leitet alle Lichterscheinungen aus der Annahme von Schwingungen des sogenannten Äthers ab. Die Existenz des Äthers ist nicht bewiesen, also hypothetisch. Nimmt man aber an, dass es einen solchen gebe, dann lassen sich alle Lichterscheinungen aus der Undulationstheorie mit mathematischer Genauigkeit ableiten.

Im Verlauf der geschichtlichen Entwicklung können sich die Grenzen zwischen Hypothesen und Theorieen sehr leicht verschieben. Eine für ein kleines Gebiet von Thatsachen aufgestellte Hypothese kann sich später so fruchtbar erweisen, dass sie zur zusammenfassenden Darstellung einer großen Anzahl von Regeln und Gesetzen dienen kann, also den Wert einer Theorie erhält. Oder es zeigt sich, dass ein Gesetz und damit alle aus ihm ableitbaren Thatsachen als logische Folgerungen aus einer für die Darstellung ganz anderer Thatsachen aufgestellten Hypothese oder aus einem anderen Gesetz abgeleitet werden können. Das erstere Gesetz wird dann zu einem „speziellen Fall“ des zweiten Gesetzes oder einer anderen Theorie. Beispiele hierfür werden wir in den folgenden Kapiteln kennen lernen.

Regeln, Hypothesen und Theorieen sind, wie wir gesehen haben, zunächst nur ein vorläufiger Ausdruck der zu suchenden Wahrheit; sie bedürfen, um zu wirklichen Wahrheiten, zu Gesetzen, zu werden, noch des Beweises. Aber auch die Regeln, Hypothesen und Theorieen bilden an und für sich schon einen wertvollen Besitz für die Wissenschaft. Die vorläufige Registrierung einer Anzahl von Einzelthatsachen in einer Regel sowie die Hypothesen und Theorieen bilden das Material, aus welchem später die Gesetze und Grundgesetze abgeleitet werden, welche den eigentlichen Inhalt der Wissenschaft ausmachen sollen. Solange man sich der wahren Bedeutung dieser Regeln und Hypothesen bewusst bleibt, sie nicht für schon bewiesene, unerschütterliche Gesetze hält, ist ein solcher Besitz mehr wert als ein System von ungenügend begründeten, mehr oder weniger willkürlich aufgestellten Sätzen, welche nicht selten als untrügliche Wissenschaft angepriesen werden.

Um von den empirisch gewonnenen Regeln zu den Gesetzen zu gelangen, sind die Hypothesen unentbehrlich. Sie führen oft zur Auffindung neuer Thatsachen, indem man aus den Hypothesen oder hypothetischen Regeln Schlussfolgerungen zieht, welche man an der Erfahrung prüfen kann. Die dabei angewandte logische Gedankenoperation wird Deduktion genannt; sie ist von der induktiven Schlussfolgerung ganz verschieden. Während bei der Induktion aus einem oder mehreren Einzelsätzen ein Schluss auf einen allgemeinen Satz gezogen wird, kommt man umgekehrt bei der Deduktion von einem Satz allgemeineren Inhalts auf einen solchen von speziellerem Inhalt oder auf einen Einzelfall.

Die deduktive Schlussfolgerung tritt sehr häufig in der Form auf, welche die Logiker Syllogismus genannt haben. Als einfachstes Beispiel möge der in Lehrbüchern der Logik häufig als Paradigma benutzte Syllogismus dienen:

Alle Menschen sind sterblich (1),
Sokrates ist ein Mensch (2),
Also ist Sokrates sterblich (3).

Der Syllogismus besteht aus den zwei Vordersätzen oder Prämissen (1 und 2) und dem Schluss- oder Folgesatz (3). In der Prämisse (1) wird eine Behauptung von einer ganzen Klasse (Mensch) aufgestellt. Sodann wird in Satz (2) behauptet, dass ein Individuum (Sokrates) zu jener Klasse gehöre. Hieraus wird gefolgert, dass die im ersten Satz von der ganzen Klasse aufgestellte Behauptung (dass ihr das Merkmal „Sterblichkeit“ zukomme) auch für dieses Individuum (als einem zur Klasse gehörigen) Geltung habe.

Die formelle Richtigkeit dieser Schlussweise wird niemand bestreiten. Ihr Wert als Mittel zu wissenschaftlicher Forschung hängt davon ab, ob die Vordersätze richtig sind. Wenn ich nach dem gleichen Schema folgenden Syllogismus bilden wollte:

Alle Säugetiere gebären lebendige Junge;
die Monotremen sind Säugetiere;
also gebären die Monotremen lebendige Junge;

so wäre der Syllogismus formal ebenso richtig. Wir haben aber gesehen, dass der Schlusssatz unrichtig ist. Das kann nur daran liegen, dass einer der Vordersätze falsch ist. Entweder ist es falsch, dass alle Säugetiere lebendige Junge gebären, oder dass die Monotremen Säugetiere sind. Wir haben uns früher im ersteren Sinne entschieden; man kann aber auch mit ebensoviel Recht den ersten Satz aufrecht erhalten, nur muss man dann (wie schon GEOFFROY ST. HILAIRE vorschlug) die Monotremen von den Säugetieren trennen und eine eigene Klasse aus ihnen machen. Damit ein syllogistischer Schluss zu einer richtigen Folgerung führe, ist es also notwendig, dass die beiden Vordersätze an sich richtig sind.

Betrachten wir den Syllogismus näher, so erkennen wir, dass er nicht geeignet ist, zur Entdeckung neuer Wahrheiten zu verhelfen. Der Schlusssatz sagt nur aus, was implicite schon im Vordersatz gesagt war. Wenn wir behaupten, dass alle Menschen sterblich seien, so ist damit selbstverständlich auch gesagt, dass jeder einzelne Mensch, heiße er nun Sokrates oder Hans oder Kunz, sterblich sei. Aus Syllogismen allein kann daher keine Wissenschaft aufgebaut werden. Sie können nicht dazu dienen, neue Wahrheiten zu entdecken, wohl aber die Wahrheit von Sätzen, die nicht ohne weiteres einleuchtet, zu demonstrieren. Das kann in vielen Fällen, wo der Sachverhalt nicht so einfach liegt wie in unserem trivialen Beispiel, sehr nützlich sein.

Dass alle Menschen sterblich sind, wird niemand bestreiten. Der Satz ist aber weder bewiesen, noch ist er eine selbstverständliche (sogenannte aprioristische) Wahrheit. Er ist vielmehr ein auf außerordentlich breiter Basis ruhender Induktionsschluss. Nicht nur wir selbst haben erfahren, dass viele Menschen, die mit uns gelebt haben, gestorben sind, wir wissen auch, dass vor uns andere Menschen und vor diesen wieder andere u. s. f. seit Tausenden von Generationen gelebt haben und gestorben sind. Der Satz ist also nach unserer Terminologie eine Regel, aber eine solche, für deren Richtigkeit unzählige Fälle sprechen, während bisher noch keine einzige Ausnahme konstatiert werden konnte. Und ähnlich steht es mit vielen anderen Sätzen, welche als aprioristische Wahrheiten oder als Axiome angesehen werden. Sie sind

durch Induktion gewonnen worden; eine andere wissenschaftliche Quelle für allgemeine Sätze giebt es nicht. Auch diejenigen Wissenschaften, welche im eigentlichsten Sinne deduktive genannt werden, weil sie aus einigen wenigen an den Anfang gestellten Sätzen ihr ganzes Lehrgebäude auf deduktivem Wege ableiten, ruhen in letzter Linie auf induktiver Grundlage.

14. Kritik der logischen Grundlagen.

14. Die Sicherheit jeder Wissenschaft hängt von der Zuverlässigkeit ihrer allgemeinen Sätze ab. In den induktiven Wissenschaften dienen die aus den Vordersätzen, mögen diese nun Regeln oder Hypothesen sein, deduktiv abgeleiteten Folgerungen zu fortwährend erneuter Prüfung und Kontrole der Vordersätze. Aus den Gesetzen über die Bewegung der Planeten können Sonnen- und Mondfinsternisse mit größter Genauigkeit im voraus berechnet werden. Der Artillerist ist imstande, die Richtung des Geschützes und die Stärke der Pulverladung so genau zu bestimmen, dass das Geschoss gerade am gewünschten Ziel einschlägt. Im Gegensatz hierzu steht die Unsicherheit des Erfolges irgend einer das politische oder wirtschaftliche Leben betreffenden Maßregel. In diesen höchst verwickelten Gebieten sind die Umstände, welche Einfluss auf die Ereignisse haben können, nicht genügend bekannt. Selbst wenn die aus sorgfältig gesammelten Erfahrungsthatsachen abgeleiteten Gesetze vollkommen zuverlässig wären, können die durch deduktive Schlussfolgerungen berechneten Ereignisse, durch unvorhergesehene Umstände abgeändert, ganz anders ablaufen, als aus den Vordersätzen geschlossen wurde.[1])

Wenn so in den Naturwissenschaften immer von neuem Kritik an den Vordersätzen geübt wird, so können Irrtümer beseitigt und die Sätze immer besser formuliert werden. Das ist besonders wichtig für die nicht zu entbehrenden Hypothesen und Theorieen. Wenn alle aus ihnen durch Deduktion ableitbaren Folgerungen sich den Erfahrungsthatsachen anpassen und keine dieser Folgerungen einer sicheren Erfahrungsthatsache widerspricht, dann ist die Hypothese oder Theorie brauchbar. Wir arbeiten mit ihr bis auf weiteres, d. h. bis sie entweder durch vollkommene Beweise zu dem Wert eines Gesetzes erhoben ist, oder bis sich ihre Unrichtigkeit durch irgend eine ihr widersprechende Thatsache herausstellt. In diesem Falle geben wir sie sofort auf oder ändern sie so ab, dass sie sich der neuen Erfahrung anpasst.

[1]) Auch das Einschlagen des Geschosses an der richtigen Stelle könnte durch einen plötzlich erfolgenden seitlichen Stoß vereitelt werden. Die Vordersätze, von denen der Artillerist sich bei der Behandlung seines Geschützes leiten ließ, sind durchaus zuverlässig; er konnte aber die Ablenkung durch den Stoß nicht in Rechnung ziehen.

Nicht selten wird es möglich sein, zwei oder mehr Hypothesen oder Theorieen aufzustellen, welche diesen logischen Forderungen gleich gut genügen. Man muss dann beide nebeneinander gelten lassen, bis irgend eine neu aufgefundene Thatsache den Ausschlag für die eine oder die andere giebt. Als Richtschnur für die Wahl zwischen mehreren möglichen Hypothesen kann gelten, dass die einfachste, d. h. diejenige, welche die wenigsten Voraussetzungen erfordert, den Vorzug verdient.

Den Alten war es bekannt, dass in einem im Wasser stehenden Pumpenrohr das Wasser in die Höhe steigt, wenn man einen in die Lichtung des Rohrs gut passenden Kolben in die Höhe zieht. Man nahm deshalb an, die Natur habe einen Widerwillen gegen den leeren Raum und nannte das horror vacui[1]). Nun wurde bei der Anlage eines Brunnens im Toskanischen bemerkt, dass man auf diese Weise das Wasser nicht höher heben konnte als etwa 10 m. Als diese Thatsache GALILEI mitgeteilt wurde, entgegnete er, der horror vacui werde wohl eine Grenze haben; er fügte also zu der ersten Hypothese eine zweite. Sein Schüler TORRICELLI kam beim Nachdenken über die Sache zu der Hypothese, dass es der Druck der Luft sei, welcher das Wasser hebe; aus dieser Hypothese folgt unmittelbar, dass die gehobene Wassersäule höchstens eine solche Höhe erreichen kann, dass ihr Gewicht dem einer Luftsäule von gleichem Querschnitt und von der Höhe der Atmosphäre gleich ist. Diese Hypothese verdient schon an sich wegen ihrer Einfachheit und Klarheit den Vorzug vor dem unbestimmten anthropomorphistischen Begriff des horror vacui. Man kann aber weiter aus ihr folgern, dass, wenn statt des Wassers eine andere Flüssigkeit gehoben wird, die Höhen sich zu einander verhalten müssen umgekehrt wie die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten. Ist also z. B. Quecksilber die betreffende Flüssigkeit, so dürfte die gehobene Säule nicht höher sein als ungefähr 0,76 m. Da sich diese Folgerung bestätigte, so war damit der Vorzug der Hypothese TORRICELLI's erwiesen.

Für die Erscheinungen des Lichts hatte NEWTON die Annahme gemacht, dass von den leuchtenden Körpern kleine Partikelchen ausgehen, welche, wenn sie in unser Auge gelangen, dort eine Nervenerregung bewirken. Man konnte mit dieser Annahme alle damals bekannten Erscheinungen des Lichts (Reflexion, Brechung u. s. w.) erklären. Dieser Emissionstheorie NEWTON's stellte HUYGHENS eine andere, die Undulationstheorie, entgegen, wonach alle Lichterscheinungen auf Schwingungen einer feinen, den Raum erfüllenden Substanz, des Äthers,

[1]) Man beachte die in solchen Annahmen liegende anthropomorphistische Personifikation der „Natur", welche dabei ganz wie ein menschliches Wesen mit Trieben, Neigungen und Abneigungen angesehen wird und der man diesen Trieben entsprechende Handlungen zuschreibt. (Vergl. oben § 10.)

beruhen sollten. Beide Theorieen waren, solange die Folgerungen aus ihnen mit den Thatsachen übereinstimmten, gleichwertig. Als aber neue Thatsachen entdeckt wurden, welche aus der Emissionstheorie nur schwer oder gar nicht, dagegen aus der Undulationstheorie leicht und gut als Folgerungen abgeleitet werden konnten (Doppelbrechung, Polarisation u. s. w.), wurde die Emissionstheorie verlassen und die Undulationstheorie allgemein angenommen[1]).

15. Induktive und deduktive Wissenschaften.

15. Die beiden Arten logischer Schlussfolgerung, Induktion und Deduktion, finden also beide in den Naturwissenschaften Anwendung. Immerhin müssen wir die Induktion als die hauptsächlichste oder alleinige Quelle der Erweiterung unseres Wissens ansehen. Es ist daher durchaus gerechtfertigt, dass man die Naturwissenschaften als induktive Wissenschaften bezeichnet und ihnen andere als deduktive gegenüberstellt.

Als Typus aller deduktiven Wissenschaften wird allgemein die Mathematik angesehen. Zugleich wird die außerordentliche Klarheit und Schärfe dieser Wissenschaft und die absolute Sicherheit der durch sie gewonnenen Wahrheiten darauf zurückgeführt, dass sie sich der deduktiven Methode bedient, welche jeden Zweifel ausschließt, eine Sicherheit, welche die auf der Erfahrung beruhenden induktiven Wissenschaften niemals erreichen könnten.

Bei der prinzipiellen Wichtigkeit dieser Frage wird es gerechtfertigt sein, eine kurze Betrachtung über die logischen Grundlagen der Mathematik einzuschalten. Wir können freilich den Gegenstand nicht erschöpfend behandeln, müssen uns auch auf die Grundlagen der elementaren Geometrie beschränken. Was wir zu sagen haben, oder vielmehr, was wir kurz andeuten werden, gilt aber auch für die Grundlagen aller andern Zweige der Mathematik, ja die aller deduktiven Wissenschaften. Aus den sogenannten Axiomen in Verbindung mit gewissen Definitionen werden in der Geometrie auf deduktivem Wege Lehrsätze abgeleitet, aus denen dann wieder andere folgen und so fort. Das ganze Lehrgebäude baut sich also durch eine Reihe von streng logisch begründeten Schlussfolgerungen auf den Axiomen auf. Sind diese richtig, so folgt alles andere notwendig und kann nicht angezweifelt werden.

Wie steht es also mit den Axiomen, und woher wissen wir, dass

---

[1]) Dass wir nicht von einem Undulationsgesetz, sondern von einer Theorie sprechen, hat seinen Grund darin, dass in ihr ein unbewiesener hypothetischer Kern steckt, nämlich die Annahme eines Äthers. (Vergl auch die Anm. auf S. 35.) Die wirkliche Existenz des Äthers können wir nicht beweisen. Da die Annahme desselben aber den Vorteil gewährt, die Erscheinungen des Lichts, des Magnetismus und der Elektrizität verständlich zu machen, so bleiben wir bei dieser Theorie, so lange nicht eine andere, bessere gefunden wird.

diese richtig sind? Bewiesen können sie nicht werden; zum Beweisen braucht man Vordersätze; die Axiome dienen als Vordersätze für Beweise, können also ihrerseits nicht auf andre (nicht vorhandene) Vordersätze begründet sein. Manche behaupten, die Axiome bedürfen keines Beweises; sie seien aprioristische Wahrheiten, d. h. solche, von deren Richtigkeit der menschliche Geist vermöge seiner Beschaffenheit an und für sich überzeugt sei, deren Gegenteil ihm unbegreiflich wäre. Wenn ein Knabe eines dieser Axiome, z. B. den Satz: „zwei Größen, die einer dritten gleich sind, sind auch untereinander gleich," zum erstenmal hört, dann stimmt er ihm allerdings sofort zu. Aber das beweist nicht, dass es eine aprioristische Wahrheit ist. Denn lange vorher, ehe er das Axiom in dieser Form hört, haben sich in seinen Vorstellungen die Begriffe „Größe" und „Gleichheit" ausgebildet. Er hat große und kleine Menschen, große und kleine Bäume u. s. w. gesehen und daraus gelernt, dass man Gegenstände (abgesehen von ihren sonstigen Eigenschaften) ihrer Größe nach miteinander vergleichen kann. Er hat auch gelernt, wie man durch Anlegen eines Maßstabs zu den Begriffen der Gleichheit oder Ungleichheit gelangt. Der Begriff der Gleichheit ist in der Anschauung entstanden und ist gleichbedeutend mit dem Begriff des „Sichdeckens". Beachtet man alles das, so zeigt sich, dass der angeführte Satz eigentlich nichts ist als eine Tautologie. Er ist „selbstverständlich" und sein Gegenteil erscheint als „unbegreiflich", weil er nur etwas aussagt, was in dem Begriff der Gleichheit schon implicite ausgesagt ist. Wenn dann der Begriff erweitert wird, wenn auch von der Gleichheit der Flächenräume verschiedener Figuren, z. B. eines Quadrats und eines Rechtecks, gehandelt wird, wo von „Sichdecken" keine Rede sein kann, so wird jene an einfacheren Fällen gewonnene Überzeugung auch auf diese Fälle stillschweigend übertragen.

Andere Axiome dagegen erweisen sich bei genauerer Zergliederung als Ausdruck einer aus vielfältiger Erfahrung gewonnenen Überzeugung. Sie sind in Wahrheit durch Induktion gewonnene Sätze, von deren Richtigkeit wir deshalb so durchdrungen sind, weil wir uns sofort erinnern, zahlreiche Fälle beobachtet zu haben, welche mit ihnen in Übereinstimmung sind, niemals aber einen Fall, der ihnen widersprochen hätte. Solche Axiome sind also Induktionen auf breitester Grundlage, ganz analog dem oben besprochenen Satze „alle Menschen sind sterblich", von dessen Richtigkeit wir auch auf Grund vielfacher Erfahrungen überzeugt sind. Wenn man trotzdem den letzteren nicht für ein Axiom erklärt, so hat dies seinen Grund darin, dass man sich bei ihm des empirischen Ursprungs besser bewusst ist als bei den Axiomen der Geometrie.

Ist eine Wissenschaft dahin gelangt, eine Anzahl genereller Induktionen als sicher festgestellt betrachten zu können, so lassen

sich aus diesen die Einzelfälle deduktiv ableiten. Man kann daher auch bei der Darstellung der Gesetze und Thatsachen in den Naturwissenschaften den Weg der Deduktion einschlagen. Statt von Einzelerfahrungen durch Induktion unter Zuhilfenahme von Hypothesen und Theorieen zu Gesetzen fortzuschreiten, kann man von diesen als Thesen ausgehen, die Einzelheiten deduktiv aus ihnen ableiten und zeigen, dass diese Folgerungen mit der Erfahrung übereinstimmen. Aber dieser bei schon fortgeschrittenen Wissenschaften gangbare und unter Umständen vorteilhafte Weg der Darstellung ist nicht derjenige, auf welchem die Wissenschaft sich zu ihrem jetzigen Standpunkt entwickelt hat. Die Geschichte fast jeden Zweiges der Wissenschaft liefert lehrreiche Beispiele dafür, dass überall, wo man diesen Weg zu früh betrat, er zu Irrungen und Wirrungen geführt hat, von denen erst auf Umwegen die Rückkehr zur Wahrheit möglich war.

Nur die Astronomie und einzelne große Zweige der Physik sind schon jetzt in der Lage, von wenigen allgemeinen Sätzen aus große Wissensgebiete rein deduktiv darzustellen. Aus dem Gravitationsgesetz lassen sich alle Probleme der Mechanik, sowohl die der Himmelskörper, als die von Massen auf der Erde, ableiten; aus der Undulationstheorie des Äthers alle Probleme der Optik. Sind einige wenige Daten über die Bahn eines Himmelskörpers festgestellt, so lassen sich seine Bewegungen über Jahrhunderte der Vergangenheit zurück berechnen und über Jahrhunderte der Zukunft voraussagen, Sonnen- und Mondfinsternisse und ähnliche besondere Konstellationen im voraus bestimmen. Die nicht nur im allgemeinen, sondern auch der Größe nach bekannten Beziehungen gestatten die Anwendung des mathematischen Kalküls, wodurch die Deduktionen eine bestimmtere Fassung erlangen, als die gewöhnlichen, durch Worte darstellbaren Deduktionen der Logik zu haben pflegen. Dadurch wird die mathematische Behandlung auch zu einem Hilfsmittel der Erweiterung der Wissenschaft selbst, indem sich aus den der Rechnung zu Grunde liegenden Voraussetzungen (Gesetzen, Hypothesen oder Theorieen) ungeahnte und durch die gewöhnlichen, in Worten ausdrückbaren, logischen Schlussoperationen nicht auffindbare Folgerungen ergeben, welche wieder durch die Erfahrung geprüft werden können und, wenn sie sich als richtig erweisen, die Richtigkeit und Zulässigkeit jener Voraussetzungen bestätigen. Diesen günstigen Umständen verdankt die mathematische Physik, welche namentlich in der Mechanik, Optik und Elektrizitätslehre ihre Triumphe feiert, ihre große Vollendung, welche sie zu dem freilich kaum erreichbaren Vorbild anderer Zweige der Naturwissenschaften stempelt.

16. Grad der Sicherheit unseres Wissens.

16. Auch die sogenannten Geisteswissenschaften, namentlich die Philosophie, werden den Naturwissenschaften gegenüber als deduktive Wissenschaften bezeichnet. Aber auch in ihnen spielen beide logische Methoden, die Induktion und Deduktion, die gleichen Rollen wie in anderen Wissenschaften. Es bestehen in Bezug auf die logischen Methoden prinzipielle Unterschiede in viel geringerem Maße, als gewöhnlich angenommen wird. Die logischen Methoden sind auch nicht etwa künstliche Instrumente, durch welche die Wissenschaften wie durch Zauberei etwas ganz Eigenartiges zu schaffen vermögen. Das Denken in der Wissenschaft unterscheidet sich in nichts von dem des gewöhnlichen Lebens; ihre Methoden sind nicht andere als die des sogenannten gesunden Menschenverstandes. Nur dass sie mit etwas mehr Bewusstsein von ihrem Wesen und mit etwas größerer Sorgfalt angewendet werden, als dies im gewöhnlichen Leben der Fall zu sein pflegt.

Auch die Sicherheit der Ergebnisse ist in den verschiedenen Wissenschaften nicht von Unterschieden in den logischen Methoden, sondern von anderen Umständen abhängig. Reine Deduktionen führen zu sicheren und wahren Schlussfolgerungen, wenn die Prämissen wahr sind. Ehe man zu deduzieren beginnt, muss daher zunächst alle mögliche Sorgfalt auf die Gewinnung richtiger Prämissen verwandt werden. Die aus ihnen gezogenen Folgerungen müssen immer und immer wieder dazu dienen, die Richtigkeit jener zu erproben. Das ist im Gebiet der Naturwissenschaften häufig in viel vollkommenerer Weise möglich als in vielen anderen Wissenszweigen. Dadurch, dass diese Prüfung immer von neuem vorgenommen wird, werden fortwährend Irrtümer berichtigt und die Grundlagen der Wissenschaft immer mehr befestigt. Man sagt deshalb auch mit Recht, dass in den Naturwissenschaften keine Lehre nur auf die Autorität Anderer hin als wahr anerkannt werde. Wenn ein Forscher von gut begründetem Ruf eine Behauptung aufstellt, möge sich dieselbe auf neue Thatsachen oder auf Schlussfolgerungen aus bekannten beziehen, so beansprucht er niemals, dass sie auf Treu und Glauben angenommen werde. Jeder, der in der Lage ist, die Sätze zu prüfen oder die Beobachtungen zu kontrolieren, kann sich von der Richtigkeit oder Unrichtigkeit der Behauptungen überzeugen. Und wenn diese oder die logischen Schlussfolgerungen aus denselben mit den Thatsachen in Widerspruch geraten, dann werden die Aussprüche jener Autorität ebensogut als die von minder bekannten und minder berühmten Forschern verworfen.

Es ist deshalb ganz falsch, wenn behauptet wird, die Naturwissenschaften könnten auf Sicherheit ihres Wissens keinen Anspruch

erheben, weil sie wesentlich auf Hypothesen begründet seien. Nicht die Hypothesen sind die Grundlagen der Erkenntnis, sondern die Thatsachen der Erfahrung, welche in jenen Hypothesen nur einen bündigen Ausdruck finden. Eine andere Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis giebt es überhaupt nicht.

In den einzelnen Zweigen der Naturwissenschaften ist das Vordringen bis zu den Gesetzen in sehr verschiedenem Maße gelungen. Wo die Bedingungen so verwickelt sind, dass sie eine genaue Erkenntnis der Erscheinungen erschweren, werden daher Hypothesen einen breiteren Raum einnehmen. Auch hier wird durch emsiges Forschen ihr Gebiet nach und nach eingeschränkt. Der eigentliche Inhalt der Wissenschaft sind nicht die Hypothesen, sondern die Thatsachen, welche durch zuverlässige Beobachtung als sicher festgestellt sind. Was irrtümlich eine Zeit lang als Thatsache gilt, wird durch wiederholte Prüfung ausgemerzt. Lücken des Wissens giebt es überall, und mancher jetzt anerkannte Satz mag in Zukunft als unbrauchbar erkannt werden. Solange aber das Bewusstsein dieser Unvollkommenheit des Wissens lebendig bleibt, ist solche Kenntnis mehr wert, als wenn die Lücken durch willkürliche Annahmen ausgefüllt und diese fälschlich für Thatsachen gehalten werden.

Drittes Kapitel.

Die Methoden der Forschung in den Naturwissenschaften im allgemeinen und in der Physiologie im besonderen.

1. Anfänge der neueren Naturforschung.

1. Aus den Erörterungen des vorigen Kapitels geht hervor, dass für den Fortschritt der Naturwissenschaften vor allem die Beschaffung eines möglichst umfangreichen empirischen Materials notwendig ist. Wenn unsere Kenntnis aller einzelnen Thatsachen der Natur eine ganz vollständige wäre, so könnte ein logisch geschulter, über alle diese Kenntnisse verfügender Kopf die Thatsachen richtig ordnen und daraus die allgemeinen Gesetze ableiten. Ein solcher Versuch ist wohl zuerst von ARISTOTELES gemacht worden. Aber freilich waren die Kenntnisse, über welche er und seine Zeitgenossen überhaupt verfügten, nicht nur unvollständig, sondern auch viel zu unbestimmt, um zu einem ganz befriedigenden Ergebnis führen zu können. Trotzdem hat er damit vieles geleistet, was noch heute unsere Bewunderung verdient. Statt aber auf der von ihm eingeschlagenen Bahn fortzuschreiten, begnügten sich seine Nachfolger meistens damit, seine Lehren, mit Einschluss seiner Irrtümer, als Dogmen zu betrachten, sie, zum Teil durch Missverständnisse entstellt, von Generation zu Generation zu überliefern und an der Kommentierung derselben ihren Scharfsinn zu üben. Während des ganzen Mittelalters kam es daher zu keiner nennenswerten Verbesserung der naturwissenschaftlichen Anschauungen, trotzdem einzelne wertvolle Entdeckungen neuer Thatsachen, namentlich durch arabische Forscher, gemacht wurden.

In das Verdienst, der Naturforschung neue Wege gewiesen zu haben, teilen sich hauptsächlich FRANCIS BACON VON VERULAM (1561—1626) und GALILEO GALILEI (1564—1642). Ersterer hat zwar selbst keine naturwissenschaftlichen Entdeckungen von Belang gemacht, er hatte sogar über wichtige naturwissenschaftliche Fragen recht verworrene Ansichten. Allein er hat das Verdienst, die Naturforscher seiner Zeit mit Nachdruck auf die Erfahrung als die einzige

Quelle des Wissens hingewiesen und die Gesetze der induktiven Logik im Gegensatz zu der bis dahin in der Philosophie allein anerkannten Deduktion und spitzfinderischen Dialektik in ihren Grundzügen entwickelt zu haben. GALILEI aber müssen wir nicht nur wegen der wichtigen Entdeckungen, welche wir ihm verdanken, sondern noch mehr wegen der Methoden, durch welche er zu ihnen gelangte, als den eigentlichen Schöpfer und Begründer der modernen Naturforschnng ansehen. Zu vollem Siege endlich gelangte der neue Geist durch die bahnbrechenden und umfassenden Arbeiten von ISAAC NEWTON (1642—1726) und CHRISTIAN HUYGHENS (1629—1695.) Seitdem hat zwar die sogenannte Naturphilosophie noch einmal für kurze Zeit die auf Beobachtung beruhenden exakten Methoden der Naturforschung zurückzudrängen vermocht; doch wurde diese Verirrung glücklich wieder überwunden.

2. Die Erfahrungen, welche wir von Jugend auf machen, sind von allerlei Zufällen abhängig. Manche Ereignisse treten häufig und an allen Stellen der bewohnten Erdoberfläche ein; andere sind selten oder nur auf gewisse Stellen beschränkt. Viele Menschen werden ein hohes Alter erreichen, ohne je ein Erdbeben aus eigener Erfahrung kennen gelernt oder den Fall eines Meteorsteins gesehen zu haben. Wichtige Naturvorgänge können sich in unbewohnten Landstrichen oder auf hoher See ereignen, wo sie von niemandem wahrgenommen werden. Auch sind die Menschen, welche einen Vorgang wahrnehmen, nicht immer in der Verfassung, denselben so aufzufassen, wie es zu genauer Bestimmung des Sachverhalts notwendig wäre. Man befrage z. B. mehrere Personen, welche Zeugen eines und desselben Ereignisses waren; man wird selten genau übereinstimmende Berichte erhalten. Dem einen ist dies, dem anderen jenes aufgefallen, meistens Nebensachen; gerade in den wesentlichen Punkten aber weichen ihre Angaben oft erheblich voneinander ab. **2. Mängel der Wahrnehmung.**

Ungenaue Erfahrungen sind aber wissenschaftlich unbrauchbar. Sie sind die Hauptquelle alles Aberglaubens oder auch, wenn sie von nicht genügend geschulten Leuten mit scheinbar wissenschaftlichen Methoden verarbeitet werden, jener Afterwissenschaft, welche als Mysticismus ihr Wesen treibt und sich einbildet, über die Grenzen des wahren Naturerkennens hinaus Geheimnisse einer „übernatürlichen" Welt enthüllen zu können.

3. Nur wenn klar- und scharfsinnige Menschen in der richtigen Geistesverfassung, unbeeinflusst von Vorurteilen, mit genügender Muße Wahrnehmungen machen, sind letztere hinreichend zuverlässig, um als Material für die wissenschaftliche Verarbeitung zu dienen. Da die Überraschung, welche plötzlich eintretende Ereignisse häufig hervorrufen, einer unbefangenen Auffassung nicht günstig ist, so **3. Beobachtung.**

müssen jene entweder lange genug andauern, oder sie müssen den Menschen nicht unvorbereitet treffen. Vorbereitung aber wird nur dann möglich sein, wenn die Ereignisse langsam eintreten oder sich durch Vorzeichen ankündigen, oder wenn auf Grund früherer Erfahrungen die Zeit ihres Eintretens, wenigstens annähernd, vorausgesehen oder berechnet werden kann. Wird ein Vorgang so mit aller nötigen Aufmerksamkeit unter Beachtung aller Nebenumstände wahrgenommen, so nennen wir das eine Beobachtung.

Beobachtungen sind deshalb für den Fortschritt unseres Wissens viel wertvoller als zufällige Wahrnehmungen. Können wir im voraus wissen, wann und unter welchen Verhältnissen der Eintritt eines bestimmten Ereignisses zu erwarten ist, so können wir uns in die beste, für die Beobachtung geeignete Verfassung versetzen, uns mit den geeigneten Instrumenten ausrüsten, auch dafür Sorge tragen, dass mehrere Beobachter ihre Aufmerksamkeit dem Vorgang zuwenden. Dies ist besonders wichtig für solche Vorgänge, deren Eintritt zu einer bestimmten Zeit auf Grund schon erworbener Kenntnisse mit größerer oder geringerer Sicherheit vorausgesagt werden kann, während die Beobachtung selbst durch widrige Umstände (Ungunst der Witterung u. d. g.) leicht vereitelt werden könnte, wie dies bei Sonnen- und Mondfinsternissen, dem Durchgang eines Sternes durch den Meridian und zahlreichen anderen astronomischen Vorgängen der Fall ist. Denn wenn wir auch den Eintritt eines solchen Ereignisses zuweilen auf das schärfste, bis auf Bruchteile einer Sekunde, zu berechnen vermögen, so können wir doch nicht das geringste zur Herbeiführung desselben beitragen. Es ist daher um so wichtiger, die Gelegenheit zur Beobachtung, wenn sie sich bietet, nicht unbenutzt verstreichen zu lassen.

Ein lehrreiches Beispiel bietet der Durchgang der Venus vor oder hinter der Sonnenscheibe, dessen Beobachtung für die genaue Berechnung der Entfernung der Erde von der Sonne von höchstem Wert ist. Als daher dieses Ereignis in den Jahren 1874 und 1882 bevorstand, wurden viele Expeditionen ausgerüstet, um an verschiedenen Stellen der Erde die Beobachtung vorzunehmen. Denn die nächste Gelegenheit dazu wird sich erst wieder in den Jahren 2004 und 2012 darbieten. — In anderen Fällen dagegen ist eine Beobachtung nur an bestimmten Stellen der Erde möglich. Um die Vermutung, dass die Monotremen Eier legen, zu prüfen, mussten sich die Beobachter nach Australien begeben, wo allein Monotremen leben.

4. Versuche.

4. In anderen Fällen dagegen sind wir imstande, die Bedingungen, unter welchen die Beobachtung gemacht werden kann, willkürlich herbeizuführen. Dazu braucht es zuweilen geringer Mittel. Wollen wir z. B. den Flug eines Vogels beobachten, welcher sich

auf einen Baumzweig niedergelassen hat, so würde irgend ein Geräusch, ein Steinwurf oder dgl., genügen, ihn aufzuscheuchen. Wenn ein Stein auf einem Tische liegt, so brauchen wir ihn nur über den Rand des Tisches wegzuschieben, um ihn fallen zu machen. In anderen Fällen ist es nicht so leicht, den Eintritt eines Ereignisses, dessen Verlauf wir zu beobachten wünschen, herbeizuführen. Wo dies aber möglich ist, da brauchen wir nicht zu warten, bis der Vorgang sich von selbst einstellt. Können wir außerdem bis zu einem gewissen Grade die Bedingungen des Eintretens und des Ablaufs eines Vorgangs abändern, so vermögen wir festzustellen, welche Umstände für den Eintritt und den Verlauf wesentlich, welche ohne Bedeutung sind.

Eine Beobachtung unter bekannten und von uns willkürlich gesetzten Bedingungen nennen wir einen Versuch oder ein Experiment. Es liegt auf der Hand, welche Vorteile ein solches Verfahren bietet gegenüber den von unserem Willen nicht abhängigen, nur gelegentlichen Beobachtungen. Aber freilich ist es zuweilen sehr schwer, die erforderlichen Bedingungen herzustellen und genügend zu beherrschen. So einfache Versuche, wie sie oben als Beispiele erwähnt wurden, sind nur selten geeignet, uns eine tiefere Einsicht in den zu erforschenden Vorgang zu gewähren. Dass ein Stein oder ein anderer Gegenstand fällt, wenn er nicht unterstützt ist, können wir oft, mit oder ohne unser Zuthun, beobachten. Wenn es uns aber darauf ankommt, alle Umstände des Falles genauer zu erforschen, dann werden nur eingehendere und mannigfach abgeänderte Versuche uns zum Ziele führen.

Versuche können entweder angestellt werden, um die Eigenschaften eines Dinges zu erfahren, oder um den Zusammenhang von Vorgängen festzustellen.[1]) In beiden Fällen werden wir meistens von einer Vermutung (Hypothese) geleitet, und es ist Zweck des Versuchs, die Richtigkeit der Vermutung zu erproben. Zuweilen kann man durch einen geschickt ersonnenen Versuch die Entscheidung zu Gunsten der einen oder der anderen von zwei sonst gleichwertigen Hypothesen herbeiführen. Einen solchen Versuch nennen manche ein Experimentum crucis.

Angenommen, wir finden einen Körper, dessen Farbe und sonstige, leicht wahrnehmbare Eigenschaften uns vermuten lassen, dass er Silber sei. Um diese Vermutung zu prüfen, stellen wir durch Versuche die anderen Eigenschaften des fraglichen Körpers fest, um zu erfahren, ob sie mit den bekannten Eigenschaften des Silbers übereinstimmen. Wir

[1]) Wir sehen hier ab von solchen Versuchen, die nur dazu dienen, etwas, das wir schon wissen, anderen zu zeigen, um sie zu belehren; diese nennt man Schul- oder Demonstrationsversuche.

hämmern den Körper und finden, dass er sehr dehnbar und geschmeidig ist. Wir bestimmen sein spezifisches Gewicht und finden es gleich 10,5. Wir erhitzen ihn, bemerken, dass er dabei nicht oxydiert wird und erst bei einer ziemlich hohen Temperatur (etwa 1000°) schmilzt. Wenn das geschmolzene Metall beim Erkalten im Moment des Erstarrens die Erscheinung des sogenannten Spratzens zeigt, so ist durch diese Versuche unsere Vermutung beinahe schon bestätigt. Zur weiteren Begründung derselben untersuchen wir noch das Verhalten gegen Säuren; wir finden, dass der Körper von Salzsäure gar nicht, von konzentrierter Schwefelsäure nur in der Hitze, von Salpetersäure schon in der Kälte angegriffen wird. Zu der auf letzterem Wege erhaltenen Lösung fügen wir Salzsäure hinzu; wir erhalten einen weißen Niederschlag, der sich bei reichlichem Zusatz von Ammoniak wieder löst. Nun sind wir überzeugt, dass wir Silber vor uns haben. Die Feststellung weiterer Eigenschaften kann nur noch dazu dienen, die Diagnose zu stützen, ohne sie abzuändern[1]).

In diesem Falle dienten also die Versuche zur Feststellung der Eigenschaften eines Gegenstands. Die Feststellung des Zusammenhangs von Erscheinungen erläutert das folgende Beispiel. Benjamin Franklin war durch seine Studien über Elektrizität zu der Vermutung gekommen, dass das Gewitter eine elektrische Erscheinung sei. Er prüfte diese Hypothese durch einen Versuch, indem er während eines Gewitters einen Drachen mit eiserner Spitze steigen ließ, an dessen Hanfschnur unten ein eiserner Schlüssel befestigt war; letzterer war durch eine Seidenschnur von der haltenden Hand isoliert. Es gelang ihm, aus dem Schlüssel Funken zu ziehen wie aus dem Konduktor einer Elektrisiermaschine. Damit war seine Hypothese bestätigt; er sicherte sie noch durch andere Versuche, welche schließlich zu der Konstruktion von Blitzableitern Anlass gaben.

Nicht immer wird die Beziehung zwischen zwei Erscheinungen

[1]) Liegt gar keine Vermutung über die etwaige Natur einer Substanz vor, so muss durch systematische Prüfung jede ihrer Eigenschaften festgestellt und die Abwesenheit anderer Eigenschaften dargethan werden, woraus sich dann ergiebt, ob die Substanz mit einem bekannten Stoff identisch oder ein Gemenge bekannter Stoffe ist, oder ob ein neuer, noch unbekannter Stoff vorliegt. Das einzuschlagende Verfahren wird um so besser sein, je schneller und sicherer es zu einem eindeutigen Ergebnis führt. Die hierzu dienenden Methoden stützen sich auf die schon vorhandene Kenntnis aller Eigenschaften der bekannten Stoffe, wie in obigem Beispiel auf die des Silbers. Die Lehre von den verschiedenen Methoden des Nachweises aller bekannten Stoffe machen den Inhalt der analytischen Chemie aus. Logisch ist das Verfahren gleichwertig demjenigen, welches zum Bestimmen einer Pflanze oder eines Tieres benutzt wird; es kommen jedoch in diesem letzteren Falle Versuche in geringem Grade oder gar nicht zur Anwendung, sondern die Merkmale oder Eigenschaften werden mehr durch aufmerksame Beobachtung festgestellt.

derart sein, dass die eine ohne die andere gar nicht bestehen kann, dass letztere, wie man sagt, eine conditio sine qua non für erstere bildet. In manchen Fällen werden auch mehr als zwei Erscheinungen so miteinander zusammenhängen, dass jede von ihnen alle anderen beeinflusst. Oder es kann auch vorkommen, dass der Eintritt einer derselben, welcher durch die sonstigen Umstände veranlasst wäre, durch eine andere der vorhandenen Bedingungen verhindert wird. Schießpulver z. B. wird durch einen Funken zur Explosion gebracht; diese bleibt aber aus, wenn das Pulver nass ist. Je nach der Natur der Bedingungen müssen also die Versuche, welche zur Feststellung von Eigenschaften der Dinge oder von Vorgängen dienen sollen, verschieden eingerichtet werden. Es sei z. B. festzustellen, in welcher Weise eine Erscheinung A von vier anderen B, C, D, E abhängt. Eine vollständige Versuchsreihe wäre dann in der Weise durchzuführen, dass die Erscheinungen C, D, E konstant erhalten werden, während B ganz fehlt oder in möglichst weiten Grenzen verändert wird; dann werden B, D, E konstant erhalten und C variert; und ebenso geschieht es mit D und schließlich mit E.

Beispiel: Zum Wachstum der Pflanzen ist die Aufnahme von Wasser, Phosphorsäure, Kalium und Stickstoff in gewissen Verbindungen durch die Wurzeln notwendig. Um festzustellen, wieviel von diesen Stoffen notwendig ist und in welchen Verbindungen sie am vorteilhaftesten wirken, macht man Vegetationsversuche in der Art, dass den Pflanzen Wasser, Kalium- und Stickstoffverbindungen in jedenfalls ausreichender Menge zugeführt werden, Phosphorsäure aber in wechselnder Menge und in verschiedenen Formen. Ist so die Abhängigkeit des Wachstums von der Phosphorsäure festgestellt, dann wird sie neben Wasser und Stickstoff in ausreichender Menge zugeführt und die Kaliumzufuhr zur Variabeln gemacht. Dann geschieht das Entsprechende für die Stickstoffverbindungen u. s. f., bis alle Beziehungen aufgeklärt sind.

Die Wahl der richtigen Mittel und die Benutzung der geeignetsten Umstände für reine Beobachtungen wie für Versuche ist es hauptsächlich, was den glücklichen Forscher ausmacht und wovon der mehr oder weniger große Fortschritt der Wissenschaft abhängt. Ein glücklicher Zufall kann Veranlassung sein, dass jemandem eine neue Erscheinung aufstößt, und dass er so zu einer vielleicht wichtigen Entdeckung kommt. Aber nur derjenige wird solchen Zufall wirklich ausnutzen, der die Erscheinung richtig auffasst, ihre Beziehungen zu den schon bekannten Thatsachen und die Bedingungen, von denen die Erscheinung abhängt, erkennt, um sie wiederholter und in passender Weise abgeänderter Untersuchung zu unterwerfen.

5. Messende Versuche.

5. Das letzte Beispiel weist darauf hin, dass die Beziehungen zwischen zwei Erscheinungen zuweilen in Zahl und Maß ausgedrückt werden können, indem einer messbaren Veränderung der einen Erscheinung eine messbare Veränderung der anderen entspricht. Wo sich eine solche Beziehung nachweisen und genau verfolgen lässt, gewährt sie eine tiefere Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen. Sie führt zur Aufstellung bestimmter, eventuell in mathematischer Form ausdrückbarer Gesetze und bahnt die mathematische Behandlung der Probleme an. Ein lehrreiches Beispiel des ungeheuren Fortschritts, welcher in dieser Behandlungsweise liegt, bietet die Entdeckung der Fallgesetze durch GALILEI, durch welche in Verbindung mit den KEPPLER'schen Gesetzen NEWTON zu seiner großartigen Generalisation des allgemeinen Gravitationsgesetzes gelangte.

Als GALILEI in seinem 19. Lebensjahre in Pisa studierte, fiel ihm während des Gottesdienstes im Dom die Thatsache auf, dass kleine und große Kronleuchter, welche an gleich langen Ketten aufgehängt waren, gleiche Schwingungsdauer zeigten. Indem er darüber nachdachte, schien es ihm, dass man die Schwingungen eines Pendels als eine Art von Fallen auffassen müsse. Denn der schwingende Körper wird bei seiner Entfernung aus der Ruhelage, in welcher die Schnur oder Kette genau vertikal ist, gehoben und fällt dann zu seiner tiefsten Lage zurück, wobei er durch seine Befestigung gezwungen ist, sich auf einem Kreisbogen zu bewegen. Wenn diese seine Auffassung von den Pendelschwingungen richtig war, so stand seine Beobachtung in direktem Widerspruch zu der damals allgemein angenommenen Lehre des ARISTOTELES, dass schwere Körper schneller fallen als leichte. Wenn man einen Stein und eine Flaumfeder fallen sieht, so besteht ja ein solcher Unterschied, wie ihn ARISTOTELES allgemein annimmt, wirklich; aber dies rührt, wie GALILEI richtig vermutete, von dem Widerstand der Luft her, welcher auf den leichten Körper sehr viel stärker verzögernd wirkt als auf den schweren[1]). Um die Unrichtigkeit des aristotelischen Satzes darzuthun, stellte GALILEI folgende Betrachtung an: Man denke sich einen fallenden Körper in eine beliebige Anzahl von gleichen Teilen zerlegt vor. Jeder von diesen ist natürlich leichter als der ganze Körper. Alle Teilchen fallen gleich schnell. Es ist aber nicht einzusehen, was sich ändern sollte, wenn die Teilchen wieder vereinigt als ein schwerer Körper fallen.

So weit bewegte sich GALILEI ganz in den Geleisen der damals gebräuchlichen dialektischen Methode. Er blieb aber dabei nicht stehen,

[1]) Die Richtigkeit dieser Vermutung kann jetzt leicht dargethan werden, indem man einen schweren und einen leichten Körper im luftleeren Raum fallen lässt, wo dann beide gleich schnell fallen.

sondern machte Versuche, um seine Vermutungen zu prüfen. Er ließ Körper von verschiedenem Gewicht vom schiefen Turm zu Pisa fallen und fand, dass sie alle gleich schnell fielen, vorausgesetzt, dass sie schwer genug und von so hohem spezifischen Gewicht waren, dass die Verzögerung durch den Widerstand der Luft den Fall nicht merklich beeinflussen konnte. Dann machte er Versuche mit Pendeln und fand, dass die Schwingungsdauer von der Masse des Pendels gar nicht, wohl aber von seiner Länge abhängig war. Er schloss ferner, dass man die Gesetze des Falls bequemer werde studieren können an dem verzögerten Fall, wie er beim Herabrollen von Kugeln auf schiefen Ebenen stattfindet, und stellte auch darüber Versuche an. Durch solche scharfsinnigen, hier nur kurz angedeuteten Überlegungen und Versuche kam er schließlich zur Aufstellung der Fallgesetze. Sein Scharfsinn ist um so mehr zu bewundern, als er noch keine Uhr besaß, sondern sich zum Messen der Zeit des Ausfließens von Wasser aus engen Öffnungen bedienen musste.

Wenn wir heute Versuche über den freien Fall der Körper machen, so bedienen wir uns der sogenannten Fallmaschinen, welche eine viel genauere Messung gestatten, als dies GALILEI möglich war. Wir wollen für einen Augenblick annehmen, das Gesetz wäre noch unbekannt und sollte erst aus dem Ergebnis der Versuche gefunden werden. Nennen wir den in einer bestimmten Fallzeit t durchfallenen Raum s, so würden wir z. B. in vier Versuchen finden:

In den Zeiten:	t	2t	3t	4t
werden durchfallen die Räume:	s	4s	9s	16s.

Wir sehen also, dass, wenn die Zeiten sich verhalten wie 1:2:3:4, die Fallräume sich verhalten wie 1 : 4 : 9 : 16, was wir auch so schreiben können: $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2$.

Wir können also sagen: die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Wenn wir uns aber so ausdrücken, so haben wir schon einen Induktionsschluss gemacht; wir haben angenommen, dass das, was für 4 Zeiträume gilt, für welche allein vorerst Versuchsergebnisse vorliegen, auch für andre, nicht gemessene Zeiten gelten werde. Die Richtigkeit dieser Hypothese können wir durch neue Versuche prüfen. Wir messen z. B. die Fallräume für eine Fallzeit von $3^1/_2$ t und von 8 t und finden dafür die Fallräume $12^1/_4$ s und 64 s, was ganz der Voraussetzung entspricht. Je zahlreicher solche Versuche angestellt werden, je mehr nach verschiedenen Methoden angestellte Versuche mit der Hypothese übereinstimmende Resultate geben, desto mehr nähert sich die Hypothese einem Gesetz. Sie wird zu einem solchen und hört damit auf, Hypothese zu sein, wenn wir nachweisen können, dass Folgerungen aus jeder anderen

Hypothese zu Ergebnissen führen, welche mit den Thatsachen nicht übereinstimmen (vgl. Kap. II, § 14).

6. Maßeinheiten.

6. Bei Versuchen dieser Art ist es nötig, die Erscheinungen, deren Beziehungen festgestellt werden sollen, nicht bloß zu beobachten, sondern zu messen, d. h. mit bestimmten, als Maßeinheiten gewählten Dingen zu vergleichen.

Dinge oder Vorgänge, welche gemessen[1]) werden können, nennt man Größen. Es giebt verschiedene Arten von Größen; mit einander vergleichen kann man aber nur Größen gleicher Art. Man kann nicht die Wärme, welche ein Ofen ausstrahlt, in Centimetern oder die Geschwindigkeit eines Schnellzuges in Grammen ausdrücken. Also muss es auch verschiedene Arten von Maßeinheiten geben. In Wirklichkeit giebt es aber nur drei Grundmaße, auf welche alle anderen Maße zurückgeführt werden können: Länge, Masse und Zeit. Die Einheit der Länge ist das Centimeter (1 cm), die Einheit der Masse das Gramm (1 g), die Einheit der Zeit die Sekunde (1 sec). Maßangaben, welche auf die Grundeinheiten bezogen sind, nennt man absolute. Daneben sind im praktischen Leben, in der Technik sowie in manchen Zweigen der Wissenschaft verschiedene sogenannte praktische Maße im Gebrauch, welche auf das absolute Maßsystem zurückgeführt werden können.

Das Centimeter (1 cm) ist der hundertste Teil eines im internationalen Maß- und Gewichtsbureau zu St. Cloud bei Paris aufbewahrten Normalmaßstabs, des Normalmeters. Nach der ursprünglichen Absicht sollte 1 m gleich dem zehnmillionsten Teil eines Meridianquadranten der Erde sein. Das trifft freilich nicht genau zu, ist aber gleichgiltig, da es nur darauf ankommt, dass alle Messungen mit demselben Maß gemacht werden. Dies wird dadurch gewährleistet, dass alle zu genauen Messungen zu benutzenden Maßstäbe mit jenem Normalmaßstab oder genauen Kopien desselben verglichen werden. Aus den Längenmaßen leiten sich die Flächen- und Körpermaße, Quadratcentimeter (1 cm^2) und Kubikcentimeter (1 cm^3) ab.

Das Gramm (1 g) ist die Masse eines Kubikcentimeters (1 cm^3) Wasser bei $+4^0$ C., bei welcher Temperatur das Wasser seine größte Dichte hat, oder eines gleichen Gewichts irgend einer anderen Substanz[2]).

Die Sekunde (1 sec.) ist der 86400te Teil der mittleren Länge eines Sonnentages; ein Sterntag, d. h. die Zeit zwischen zwei aufeinander

[1]) Der Ausdruck „Vorgänge messen" ist nur der Kürze wegen gebraucht. Gemessen werden nur die Größen, welche auf den Vorgang Einfluss haben, wie dies im folgenden weiter erläutert werden wird.

[2]) Masse und Gewicht sind begrifflich nicht identisch. Wenn aber zwei gleiche Massen in gleichem Abstand vom Erdmittelpunkt verglichen werden, dann haben sie auch gleiches Gewicht. (Vergl. Kap. 4, § 2.)

folgenden Kulminationen eines und desselben Fixsterns (den Zeitpunkten, in denen der Stern den Meridian des Beobachtungsortes passiert) ist um 0,09 Sekunden länger als ein mittlerer Sonnentag.

Die für unsere Zwecke erforderlichen abgeleiteten Maßeinheiten werden wir später kennen lernen.

Bei der Ausführung von Messungen können wir uns gewisser Instrumente bedienen, welche die Genauigkeit erhöhen: Mikroskope, Fernrohre, Winkelhebel u. dgl. Manche Messungen können nicht direkt, sondern nur auf Umwegen gemacht werden. Wenn wir z. B. die Temperatur eines Körpers durch ein in denselben eingeführtes Thermometer bestimmen, so beruht dies darauf, dass bei hinlänglich langer Berührung das im Thermometer eingeschlossene Quecksilber dieselbe Temperatur annimmt wie der zu messende Körper, und dass wir die Temperatur des Quecksilbers aus seiner Volumsveränderung erkennen, letztere aber wieder aus einer Veränderung der Länge des im Thermometerrohr eingeschlossenen Quecksilberfadens. Wo es irgend angeht, sucht man durch passende Einrichtung der Instrumente alle Messungen auf Längen- oder auf Winkelmessungen (Teile des Kreisumfangs) zurückzuführen.

7. Wenn wir auch die größte Sorgfalt auf die Ausführung der Messungen verwenden, so können wir doch kleine Fehler niemals ganz vermeiden. Diese Beobachtungs- oder Ablesungsfehler rühren zum Teil von der Unvollkommenheit der Instrumente, zum anderen Teil von derjenigen unserer Sinnesorgane her. Erstere können unter Umständen konstant sein und durch Prüfung des Instrumentes festgestellt werden. 7. Messungsfehler.

Eine gute Pendeluhr, wie sie auf Sternwarten benutzt wird, geht niemals so übereinstimmend mit dem mittleren Sonnen- oder dem Sterntag, dass genau 86400 Sekunden der Uhr auf den ersteren oder 86400,09 Sekunden der Uhr auf einen Sterntag fallen. Durch Vergleichen der Uhr mit mehreren aufeinander folgenden Durchgängen eines Sternes durch den Meridian kann man aber den Gang der Uhr genau feststellen; und wenn dieser sich nicht ändert, so kann man mit ihr eben so genau messen, als wenn sie keine Abweichung zeigte. Der Gang der Pendeluhren ist von der Länge des Pendels abhängig, und wenn dieses etwa durch Temperaturschwankungen verändert würde, dann wäre eine solche Uhr für genaue Messungen ganz unbrauchbar. Der Einfluss der Temperaturschwankungen auf das Pendel muss daher durch passende Mittel kompensiert, d. h. es muss so eingerichtet werden, dass seine Länge[1]) un-

[1]) Gemeint ist die sogenannte „reduzierte“ Länge des Pendels. Da die einzelnen Punkte eines schweren Pendels verschiedene Entfernungen von dem Aufhängungspunkt haben, so wirken die näheren, weil sie, wenn allein vorhanden, schneller schwingen würden, beschleunigend auf die entfernteren und diese wieder verzögernd auf jene. An einem bestimmten Punkte werden diese beiden

veränderlich ist, und die Genauigkeit der Kompensation muss durch besondere Versuche geprüft werden.

Man kann also mit einem fehlerhaften Werkzeug dennoch genaue Messungen machen, wenn man nur die Fehler desselben kennt und weiß, dass sie konstant sind. Man hat dann bei allen Ablesungen eine sogenannte Korrektion vorzunehmen, welche den Fehler wieder ausgleicht. Die nicht konstanten Fehler, mögen sie von den Instrumenten oder von unseren Sinneswerkzeugen herrühren, gestatten keine einfache Korrektion. Man kann aber, wenn man eine und dieselbe Messung vielfach wiederholt, feststellen, innerhalb welcher Grenzen die Schwankungen des gemessenen Wertes sich bewegen. Dabei ist es schon an und für sich wahrscheinlich, dass die Abweichungen von dem gesuchten wahren Wert nicht immer nach derselben Richtung liegen werden, wie es bei den durch das Messinstrument, die Messungsmethode oder auch durch die Beschaffenheit der Sinnesorgane des Beobachters bedingten konstanten Fehlern der Fall ist. Die gemessenen Werte werden also zum Teil zu klein, zum Teil zu groß ausfallen. Wenn man daher eine größere Anzahl von Messungen macht und aus den gefundenen Werten das arithmetische Mittel berechnet, so werden die Beobachtungsfehler sich nahezu ausgleichen, und man wird einen der zu messenden Größe sich mehr annähernden Wert erhalten.

Je größer die Zahl der Beobachtungen, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Beobachtungsfehler sich gegenseitig ausgleichen. Man kann dann nach bestimmten mathematischen Regeln berechnen, wie groß der dem arithmetischen Mittel noch anhaftende sogenannte wahrscheinliche Fehler noch sein kann. Wird eine Größe nicht durch eine einzige Versuchsreihe ermittelt, sondern aus mehreren Reihen von Messungen abgeleitet (z. B. bei der Bestimmung der Dichte eines Körpers, wobei derselbe einmal in der Luft und einmal unter Wasser gewogen wird), so ist jede Reihe mit Beobachtungsfehlern behaftet; der wahrscheinliche Fehler des Gesamtresultats wird davon abhängen, ob die Fehler der Einzelbeobachtungen alle in gleichem Sinne zusammenwirken oder sich zum Teil gegenseitig aufheben. Die wahrscheinliche Größe des Gesamtfehlers kann berechnet, und die Versuche können so eingerichtet werden, dass dieser Gesamtfehler möglichst klein wird.

8. Funktionsverhältnis.

8. Wenn zwei Reihen von Größen in einer solchen Beziehung zueinander stehen, dass zu jeder Größe der einen Reihe eine Größe der anderen Reihe gehört, (unter Umständen auch mehrere),

---

Einwirkungen gerade einander aufheben; dieser Punkt wird also genau so schwingen, als wenn er allein vorhanden wäre. Die Entfernung dieses Punktes vom Aufhängungspunkt ist die reduzierte Länge; von ihr hängt die Schwingungsdauer des Pendels ab.

so nennt man diese Beziehung ein Funktionsverhältnis und drückt dies allgemein durch die Bezeichnung $x = f(y)$ aus. In dieser Formel können x und y verschiedene Werte bedeuten, sie sind variable Größen; sobald aber dem x ein bestimmter Wert beigelegt wird, so ist damit auch der zugehörige Wert von y genau bestimmt. In dem Beispiel vom Fallgesetz (§ 5) stehen die Fallräume und die Fallzeiten im Funktionsverhältnis. Denn jeder bestimmten Fallzeit entspricht ein bestimmter Fallraum. Wir können deshalb schreiben $s = f(t)$. Diese Bezeichnung besagt, dass zwischen den Größen s und den Größen t numerische Beziehungen bestehen, lässt aber die Art dieser Beziehungen noch unbestimmt. Wenn die Beziehungen bekannt sind, so kann die unbestimmte Gleichung $s = f(t)$ ersetzt werden durch eine andere, welche die Art dieser Beziehung angiebt; in unserem Falle wäre dies die Gleichung $s = a \cdot t^2$. In dieser Gleichung sind s und t Variable, a dagegen ist eine Konstante, welche in allen Fällen ihren Wert unverändert beibehält. Setzen wir $t = 1$, so ist auch $t^2 = 1$ und daher $s = a$; d. h. a ist diejenige Zahl, welche den Fallraum für die erste Sekunde des Fallens angiebt; beim freien, vertikalen Fall in mittleren Erdbreiten ist $a = 4{,}9$ m.

Das Funktionsverhältnis ist stets ein reciprokes; denn wenn zu jedem Wert von y ein bestimmter Wert von x gehört, so gehört zu jedem Wert von x ebenso auch ein bestimmter Wert von y. Der Gleichung $x = f(y)$ entspricht also immer eine andere $y = f(x)$. Der Gleichung $s = a \cdot t^2$ entspricht die reciproke $t = \pm \sqrt{\frac{s}{a}}$.[1])

9. Die vorstehenden Erörterungen haben gezeigt, wie aus sorgfältig angestellten Versuchen gesetzmäßige Beziehungen aufgefunden und unter Umständen durch Formeln dargestellt werden können. Zur weiteren Erläuterung wollen wir noch ein Beispiel aus einem anderen Gebiete der Physik heranziehen. Es soll untersucht werden, in welcher Weise ein warmer Körper seine Wärme an eine niedriger temperierte Umgebung abgiebt, u. z. soll, um die Aufgabe möglichst zu vereinfachen, jede Wärmeabgabe durch Leitung ausgeschlossen und nur die durch sogenannte Strahlung möglich sein. 9. Ableitung von Gesetzen aus Versuchen.

Um diese Aufgabe experimentell zu lösen, könnte man etwa so verfahren. Man erwärmt ein Thermometer mit ziemlich großer Quecksilberkugel, sagen wir auf 20°. Das Thermometer ist in einem Stopfen befestigt, welcher in die Mündung eines starkwandigen, kugligen Glasgefäßes passt, so dass, wenn der Stopfen eingesetzt ist, die Kugel des

[1]) Jedem Werte von s entsprechen also zwei Werte von t, ein positiver und ein negativer. Mit Rücksicht auf solche Fälle wurde oben gesagt, dass zuweilen zu jeder Größe der einen Reihe mehrere Größen der anderen gehören.

Thermometers sich im Mittelpunkt des Gefäßes befindet. Das Gefäß ist außerdem mit einem Rohransatz versehen, welcher durch einen gut schließenden Hahn abgesperrt werden kann. Wenn der Stopfen mit dem Thermometer gut eingefügt ist, verbinden wir den Ansatz mit einer Luftpumpe und machen das Gefäß luftleer; dann setzen wir es in einen größeren Behälter und umgeben es ganz mit kleinen Eisstücken, so dass die Wandungen des Gefäßes auf 0^0 abgekühlt und dauernd auf dieser Temperatur erhalten werden.

Das Thermometer ist inzwischen schon gefallen. Wir warten ab, bis es auf 10^0 steht, und notieren die Zeit, wann dies geschieht; wir warten bis es auf 9^0 steht, und notieren wieder die Zeit u. s. f. Mit anderen Worten, wir stellen die Zeiten fest, die verfließen, während das Thermometer um je einen Grad fällt. Nennen wir die Zeit (in Sekunden), während welcher das Thermometer von 10^0 auf 9^0 fällt, m. Der weitere Verlauf ergiebt sich aus folgender Tabelle:

Das Thermometer steht auf	Zeit, die verflossen ist seit dem Stande 10^0
10^0	0 sec.
9^0	1 m „
8^0	2,1 m „
7^0	3,4 m „
6^0	4,9 m „
5^0	6,6 m „
4^0	8,7 m „
3^0	11,4 m „
2^0	15,2 m „
1^0	21,5 m „
0^0	40,5 m „

Wir wollen versuchen, ob wir aus diesen Thatsachen irgend eine Gesetzmäßigkeit ableiten können.[1]) Wir machen die Hypothese, dass die Strahlung proportional sei der Differenz der Temperatur des Wärme abgebenden Körpers und der Temperatur der Umgebung. Da letztere konstant auf 0^0 gehalten wurde, ist diese Differenz gleich der jeweiligen Temperatur des Thermometers.

In der Zeit, in welcher das Thermometer von 10^0 auf 9^0 fiel,

[1]) Wir sehen dabei vorläufig ganz davon ab, was wir uns unter dem Ausdrücken „Wärme“ und „Temperatur“ zu denken haben. Die Erklärung dieser Ausdrücke soll später gegeben werden. Wir setzen voraus, dass die „Wärme“, was sie auch sein möge, von wärmeren oder höher temperierten Körpern auf kältere, niederer temperierte überzugehen vermag. Diesen Übergang nennen wir, wenn er ohne Vermittelung materieller Körper vor sich geht (wie dies in unserm Versuche der Fall war, wo das Thermometer sich in einem luftleeren Raume befand) Strahlung.

war seine Temperatur im Mittel 9,°5. In dieser Zeit ($= m$ sec.) sank das Thermometer um 1°; also war sein Abfall in der Zeiteinheit $= \frac{1^0}{m}$. Während das Thermometer von 9° auf 8° fiel, war seine mittlere Temperatur 8,°5; die Abnahme um 1° erforderte die Zeit 1,1 m, (nämlich $2{,}1\,m - 1\,m$), also sank es in der Zeiteinheit um $\frac{1^0}{1{,}1\,m}$. Um von 6° auf 5° zu fallen, während welcher Zeit seine mittlere Temperatur $= 5{,}°5$ war, brauchte es die Zeit $6{,}6 - 4{,}9 = 1{,}7\,m$; der Abfall in der Zeiteinheit war also gleich $\frac{1^0}{1{,}7\,m}$ u. s. f.

Wir stellen nun nochmals die im Versuch gefundenen Werte in einer Tabelle zusammen, stellen ihnen aber unter der Bezeichnung „berechnet" andere zur Seite, welche unter der Voraussetzung, unsere Hypothese sei richtig, berechnet sind.

1. Temperaturdifferenz	2. Zeitdauer für den Temperaturabfall um 1°		3. In der Zeiteinheit eingetretener Temperaturabfall	
	Gefunden	Berechnet	Gefunden	Berechnet
$9^1/_2{}^0$	1 m		$\frac{1}{\text{m}}$	$\frac{1}{\text{m}}$
$8^1/_2{}^0$	1,1 m	1,12 m	$\frac{1}{1{,}1\text{ m}}$	$\frac{1}{1{,}12\text{ m}}$
$7^1/_2{}^0$	1,3 m	1,29 m	$\frac{1}{1{,}3\text{ m}}$	$\frac{1}{1{,}27\text{ m}}$
$6^1/_2{}^0$	1,5 m	1,46 m	$\frac{1}{1{,}5\text{ m}}$	$\frac{1}{1{,}46\text{ m}}$
$5^1/_2{}^0$	1,7 m	1,73 m	$\frac{1}{1{,}7\text{ m}}$	$\frac{1}{1{,}73\text{ m}}$
$4^1/_2{}^0$	2,1 m	2,11 m	$\frac{1}{2{,}1\text{ m}}$	$\frac{1}{2{,}11\text{ m}}$
$3^1/_2{}^0$	2,7 m	2,71 m	$\frac{1}{2{,}7\text{ m}}$	$\frac{1}{2{,}71\text{ m}}$
$2^1/_2{}^0$	3,8 m	3,80 m	$\frac{1}{3{,}8\text{ m}}$	$\frac{1}{3{,}80\text{ m}}$
$1^1/_2{}^0$	6,3 m	6,33 m	$\frac{1}{6{,}3\text{ m}}$	$\frac{1}{6{,}33\text{ m}}$
$^1/_2{}^0$	19,0 m	19,00 m	$\frac{1}{19{,}00\text{ m}}$	$\frac{1}{19{,}00\text{ m}}$

In der Rubrik 2 wurde angenommen, die erste Ablesung der Zeiten, in welcher das Thermometer von 10° auf 9° sank, sei

genau, und daraus wurde berechnet, wieviel Zeit zum Sinken von 9^0 auf 8^0, von 8^0 auf 7^0 u. s. f. erforderlich wäre, unter Voraussetzung der Richtigkeit unserer Hypothese, dass die Wärmeabgabe der jedesmaligen Temperaturdifferenz proportional sei. In der Rubrik 3 wurde die Berechnung gemacht unter der Annahme, dass die letzte Bestimmung (der Verlust an Wärme beim Sinken von 1^0 auf 0^0) die genaueste wäre. Es ergiebt sich keine absolute Übereinstimmung der berechneten und der durch den Versuch gefundenen Werte. In beiden Fällen sind aber die Abweichungen gering und berechtigen uns zu der Annahme, dass sie durch die unvermeidlichen Fehler in der Ablesung des Thermometers und der Uhr bedingt sein können. Wenn wir den Versuch öfter wiederholen und dann finden, dass die Abweichungen immer klein und bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin liegen, so dürfen wir uns dabei beruhigen und annehmen, dass die Hypothese richtig sei. Sie hört also auf, eine Hypothese zu sein und wird nach unserem Sprachgebrauch ein Gesetz. In der That ist das, was wir hier gefunden haben, in der Physik als das Newton'sche Abkühlungsgesetz bekannt, welches lautet:

„Wenn ein Körper in einer Umgebung von niedrigerer Temperatur als seine eigne nur allein durch Strahlung Wärme abgiebt, so ist die Abgabe in jedem Zeitteilchen proportional der Differenz zwischen der Temperatur des Körpers und der Umgebungstemperatur."

10. Empirische und rationelle Gesetze.

10. Das aus obigen Versuchen abgeleitete Gesetz ist ein sogenanntes empirisches. Solche Gesetze haben zunächst nur Geltung innerhalb des Bereichs der Versuche, durch welche sie gefunden worden sind. Wenn zur Abkühlung auf 4^0 die Zeit von 8,7 *m*, zur Abkühlung auf 3^0 die Zeit 11,4 *m* erforderlich ist, und wir wollen erfahren, welche Temperatur das Thermometer in der Zeit 10 *m* nach Beginn des Versuchs gehabt hat, so können wir ohne weiteres annehmen, dass es dabei eine zwischen 3^0 und 4^0 liegende Temperatur hatte. Wir können diese Temperatur berechnen unter der Voraussetzung, dass die Gesetzmäßigkeit, welche wir für die ganzen Grade zwischen 10^0 und 0^0 gefunden haben, auch für die Zwischenstufen von 3^0 und 4^0 gelten werde. Wenn wir aber aus den Zahlenwerten unserer Versuche berechnen wollten, wie sich die Abkühlung eines Körpers von 200^0 in einer Umgebung von 50^0 gestalten würde, so können wir nicht mit Sicherheit voraussetzen, dass auch hierfür das Gesetz noch giltig sei. In der That hat sich gezeigt, dass bei größeren Temperaturdifferenzen die Erkaltung schneller erfolgt, als nach dem Gesetz erwartet werden sollte.

Bei dem früher betrachteten Fallgesetz hat sich herausgestellt, dass es, wenn Störungen durch den Widerstand der Luft etc. ausgeschlossen sind, innerhalb jedes überhaupt messbaren Bereiches seine Geltung behält. Außerdem haben wir schon gesehen, dass es als ein besonderer Fall aus einem viel allgemeineren Gesetze (dem Gravitationsgesetze) abgeleitet werden kann. Man nennt solche Gesetze zum Unterschiede von den rein empirischen rationelle Gesetze. Die Giltigkeit der ersteren beschränkt sich auf den engen Bereich, welchen die Versuche umfassen; die rationellen Gesetze dagegen gelten unumschränkt, wenn ihre Richtigkeit durch Übereinstimmung aller aus ihnen abgeleiteten Deduktionen mit der Erfahrung bewiesen ist.

Innerhalb des Geltungsbereiches eines Gesetzes kann man aus zwei durch den Versuch gefundenen Werten die dazwischenliegenden finden. Wenn es nicht auf absolute Genauigkeit ankommt und das Intervall nicht zu groß ist, so genügt es, das betreffende Intervall in eine Anzahl gleicher Teile zu zerlegen, d. h. man nimmt an, dass die Veränderungen innerhalb des Intervalls ganz gleichmäßig erfolgen, oder mit anderen Worten, dass die Änderungen der beiden Variabeln einander proportional seien.

Aus der Tabelle S. 58 ersehen wir, dass während der Abkühlung nach der Zeit 3,4 m das Thermometer auf 7^0 und nach der Zeit 4,9 m auf 6^0 gefallen war. Um annäherungsweise zu bestimmen, welchen Thermometerstand man nach der Zeit 4 m gefunden hätte, nehmen wir an, das Fallen von 7^0 auf 6^0 wäre gleichmäßig (der Zeit proportional) vor sich gegangen. Die ganze Abnahme um einen Grad hat die Zeit von 1,5 m erfordert; demnach können wir für $0,^01$ die Zeit von 0,15 m rechnen. Von 3,4 m bis 4 m sind aber 0,6 m oder $4 \times 0{,}15$ m; also muss das Thermometer bis zur Zeit 4 m noch um $0,^04$ gefallen sein, hätte demnach den Stand $6,^06$ erreicht[1]).

11. Quantitative und qualitative Versuche.

11. Versuche, welche dazu dienen, numerische Beziehungen zwischen Größenreihen festzustellen, können wir als quantitative bezeichnen. In vielen Fällen aber müssen wir uns begnügen, festzustellen, ob unter gewissen Bedingungen ein Ereignis überhaupt eintritt oder ausbleibt, oder ob überhaupt eine Änderung erfolgt, weil wir nicht imstande sind, die Vorgänge messend zu verfolgen. Solche Versuche wollen wir zum Unterschiede qualitative nennen. Auch durch qualitative Versuche können wertvolle Bereicherungen unserer Kenntnisse gewonnen werden. Je mannigfaltiger und verwickelter die Bedingungen sind, unter denen eine Erscheinung sich vollzieht, desto schwieriger ist es, quantitative Versuche anzustellen,

[1]) Näheres über dieses Verfahren, welches man als Interpolation bezeichnet, s. im Anhang.

weil man die einzelnen Bedingungen nicht mit genügender Sicherheit variieren und gleichzeitig die anderen konstant halten kann. Erst nach und nach, wenn die Einsicht in den Zusammenhang der verwickelten Erscheinungen bis zu einem gewissen Grade vorgeschritten ist, gelangt man dazu, den Einfluss jeder einzelnen Bedingung auch quantitativ zu bestimmen. Die Erscheinungen des Pflanzen- und Tierlebens gehören sicher zu den verwickeltsten. Daher sind messende Versuche in der Physiologie in der Regel mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden. Die Geschichte der Wissenschaft weist warnende Beispiele dafür auf, dass voreilige und mit ungenügenden Mitteln unternommene Versuche solcher Art zu groben Täuschungen geführt haben.

12. Apparate.

12. Je nach den Objekten, an denen die Versuche angestellt werden sollen, und je nach den zu lösenden Aufgaben müssen die verschiedensten Methoden angewendet werden. In dem Bestreben, die Versuche unter möglichst günstigen Bedingungen anzustellen, haben die Forscher nicht bloß die Mittel der Beobachtung zu vervollkommnen gesucht, sondern auch Vorrichtungen oder Apparate ersonnen, welche die für den Versuch erforderlichen Bedingungen möglichst gut erfüllen.[1])

Apparate dienen entweder zum Messen, wie Maßstäbe, Wagen, Uhren, Thermometer u. s. w.; oder zur Beobachtung bestimmter Vorgänge unter ganz bestimmten Bedingungen, also zu Versuchen. Die ersteren sind fast in allen Wissenschaften die gleichen. Sie werden vielfach durch Anwendung gewisser Hilfsmittel, welche die Leistungen unserer Sinnesorgane unterstützen (Mikroskope u. dgl.), zu einem hohen Grade der Genauigkeit gebracht.[2]) Die Apparate der zweiten Art weisen natürlich, je nach den Wissenschaften, denen sie dienen sollen, verschiedene Einrichtungen auf; doch können gelegentlich Apparate, welche für die Forschung in einer bestimmten Wissenschaft ersonnen sind, auch in einer anderen mit Nutzen verwendet werden, nachdem sie den besonderen Zwecken, denen sie nunmehr dienen sollen, angepasst worden sind. Große Bedeutung in der Physiologie hat eine Art von Apparaten erlangt, welche ebenso zu Demonstrations- wie zu Forschungszwecken wichtige Dienste leisten, die sogenannten schematischen Apparate. Das ihnen zu Grunde liegende Prinzip ist, das, was erforscht oder demonstriert

---

[1]) Neben den zur Forschung bestimmten Apparaten giebt es andere, die für den Unterricht, zur Demonstration der schon erforschten Thatsachen und Gesetze dienen, welche man deshalb als Demonstrationsapparate bezeichnet.

[2]) Zu den messenden Apparaten gehören auch die sogenannten graphischen; sie finden in der Physiologie eine sehr ausgedehnte Anwendung. Über das ihnen zu Grunde liegende Prinzip wird im Anhang Näheres gesagt werden.

werden soll, auf möglichst einfache Art nachzubilden. Je mehr es gelingt, alle wesentlichen Bedingungen eines Vorgangs so getreu als möglich gleich zu machen denen, welche bei dem zu untersuchenden Vorgang gegeben sind, die unwesentlichen aber entweder ganz fortzulassen oder sie doch so einfach wie möglich zu gestalten, desto besser erfüllt der Apparat seinen Zweck.

Wir haben z. B. bei Erforschung des Blutkreislaufs erkannt, dass das Herz als eine Saug- und Druckpumpe wirkt, welche das Blut in fortwährender Bewegung innerhalb der elastischen Röhren der Blutgefäße erhält. Wir stellen einen Apparat zusammen, welcher diese Einrichtung möglichst getreu nachahmt. Wir ersetzen das Herz durch eine Saug- und Druckpumpe mit passenden Ventilen, die Blutgefäße durch elastische Schläuche u. s. w. An diesem Schema des Kreislaufs, wie wir es zu nennen pflegen, experimentieren wir weiter, verändern bald diesen, bald jenen Teil und erfahren so vieles, was an dem Tier selbst viel schwerer oder gar nicht zu beobachten gewesen wäre. Wir nehmen Veränderungen an dem Schema vor und untersuchen, ob dieselben von Einfluss auf das Endergebnis sind oder nicht. Hierdurch wird die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Erscheinungen des zu erforschenden Vorgangs gelenkt und das Verständnis des Zusammenhangs der Erscheinungen gefördert. Sodann untersuchen wir, wie weit sich die an dem Schema gefundenen Thatsachen und Gesetzmäßigkeiten auf die Verhältnisse des lebenden Tieres übertragen lassen. Wichtige Erweiterungen unsrer Kenntnisse sind durch solche schematische Nachbildungen gewonnen worden. Besonders nützlich aber erweisen sich gut ersonnene derartige Apparate für die Demonstration der erkannten Gesetzmäßigkeiten, da an ihnen vieles deutlicher und klarer hervortritt als am lebenden Tier, in welchem die einzelnen bei dem Vorgang mitwirkenden Teile oft nur schwer oder gar nicht der unmittelbaren Beobachtung zugänglich sind.

13. Die wichtigste Quelle der Erkenntnis in der Physiologie bleibt aber immer die Beobachtung der Erscheinungen an den lebenden Wesen selbst. Solche Beobachtungen lassen sich zum Teil ohne weitere Vorbereitung anstellen, andere erfordern große Übung und komplizierte Hilfsmittel. Dass ein Mensch während seines ganzen Lebens regelmäßige Atembewegungen macht, bei denen sein Brustkorb abwechselnd erweitert und verengert wird, sehen wir schon bei oberflächlicher Betrachtung. Dass dabei Luft durch Mund und Nase eingesogen und ausgestoßen wird, können wir durch einfache Versuche feststellen, z. B. indem wir einen leichten Körper (eine Flaumfeder) vor die Nase halten. Dass die ausgeatmete Luft reich an Wasserdampf ist, erkennen wir daran, dass ein Niederschlag dieses Wasserdampfes entsteht, sobald die ausgeatmete Luft abgekühlt wird. Dass sie reich an Kohlendioxyd ist,

13. Beobachtungen und Versuche an lebenden Wesen.

können wir nicht ganz so leicht finden; dazu müssen wir sie etwa mit Kalk- oder Barytwasser in Berührung bringen, in denen dann ein Niederschlag entsteht. Dass unser Herz regelmäßig schlägt, fühlen wir zuweilen, wir können es auch aus der Erscheinung des sogenannten Spitzenstoßes oder des Pulses erschliessen. Aber der Zusammenhang dieser beiden Erscheinungen mit dem Schlagen des Herzens ist nicht ohne weiteres einzusehen, sondern musste erst durch weitläufige Untersuchungen aufgeklärt werden. Dass der Durchmesser der Pupille veränderlich ist, fällt bei Betrachtung der Augen unserer Mitmenschen leicht auf; es ist auch nicht schwer, festzustellen, dass dies mit dem Wechsel der Intensität des ins Auge fallenden Lichts zusammenhängt; bei hellem Licht wird die Pupille enger, in der Dunkelheit weiter. Um aber den Zusammenhang zwischen diesen Bewegungen der Iris und dem Wechsel der Lichtintensität vollständig aufzuklären, dazu bedurfte es sehr verwickelter Untersuchungen über die Eigenschaften des Nervensystems.

Manche Beobachtungen lassen sich nur unter Zuhilfenahme mehr oder minder starker Vergrößerungen durch das Mikroskop anstellen. Das gilt erstens für das Studium der Lebenserscheinungen der Kleinlebewesen des Tier- und Pflanzenreichs, welche überhaupt mit bloßem Auge nicht gesehen werden können. Ein Wassertropfen aus einer Pfütze zeigt bei mikroskopischer Betrachtung sich voll lebender Wesen, an denen wichtige Beobachtungen gemacht werden können. Aber auch die Körper der größeren Tiere und Pflanzen erweisen sich als zusammengesetzt aus kleinen Teilchen, deren feinere, nur durch mikroskopische Untersuchung erkennbare Struktur für das Verständnis der Lebensvorgänge wertvolle Belehrung gewährt. Kleinere Lebewesen und in einzelnen Fällen auch größere Tiere und Pflanzen sind zuweilen durchsichtig genug, um sie unmittelbar, selbst bei starker Vergrößerung, beobachten zu können. Nicht selten ist es möglich, einzelne losgelöste Teilchen größerer Lebewesen ohne wesentliche Störung ihrer Beschaffenheit zu untersuchen. Meistens aber kann die genauere Untersuchung der Strukturen erst nach besonderer Vorbereitung erfolgen. Die diesen Zwecken dienende mikroskopische Technik ist in den letzten Jahren außerordentlich vervollkommnet worden. Es ist jedoch jedesmal durch sorgfältige Kritik der angewendeten Methoden festzustellen, wie weit die gewonnenen Bilder als genaue Wiedergabe des Lebenszustandes angesehen werden dürfen, um Täuschungen durch sogenannte „Kunstprodukte“ zu vermeiden, d. h. durch Veränderungen, welche erst durch die angewandten Hilfsmittel hervorgerufen worden sind.

Abgesehen von der Feststellung der Strukturen dient das Mikroskop auch dazu, Vorgänge zu erkennen, Bewegungen oder

Änderungen des Aussehens, sei es dass diese während der Beobachtung ohne unser Zuthun eintreten oder dass sie absichtlich herbeigeführt werden. Namentlich die sogenannten mikrochemischen Reaktionen, d. h. das Auftreten von Veränderungen des Aussehens innerhalb eines mikroskopischen Objekts infolge der Einwirkung einer zugefügten Substanz, welche man entweder vor Anfertigung des Präparats hat einwirken lassen oder die man während der Beobachtung selbst erst hinzutreten lässt, sind oft von großem Wert. In allen diesen Fällen haben wir es also mit Kombinationen der experimentellen Methoden und der Beobachtung bei Unterstützung des Auges durch das Mikroskop zu thun.

Solche Beobachtungen und Versuche können zuweilen an unversehrten lebenden Wesen gemacht werden. Dasselbe gilt auch von Versuchen anderer Art, bei denen entweder das ganze Tier oder einzelne Teile seines Körpers absichtlich unter verschiedene Bedingungen versetzt werden. Wenn wir ein Auge mit der Hand beschatten und dann durch Fortziehen der Hand plötzlich hellem Licht aussetzen, so beobachten wir den schon erwähnten Wechsel in der Weite der Pupille. Derselbe Versuch, am toten Tier angestellt, bleibt ohne Erfolg. Es handelt sich also um eine Lebenserscheinung; ob aber die Wirkung des Lichts auf die Iris direkt erfolgt oder auf Umwegen, bleibt zunächst unentschieden. Wenn wir unsere Puls- und Atemfrequenz während der Ruhe zählen, dann eine anstrengende körperliche Arbeit verrichten und unmittelbar darauf wieder Pulse und Atembewegungen zählen, so finden wir eine erhebliche Beschleunigung beider; bei Ruhe des Körpers gehen sie wieder nach und nach auf die frühere Frequenz zurück.

14. Es sind aber nicht viele Vorgänge des Lebens, welche sich durch so einfache Versuche erforschen lassen. Die Beobachtung der nicht an der Oberfläche gelegenen Organe oder der Wunsch, sie unter bestimmte, durch den Versuchszweck gegebene Bedingungen zu bringen, macht die Entfernung der sie bedeckenden undurchsichtigen Teile oder andere Eingriffe erforderlich. Das muss selbstverständlich am lebenden Tiere geschehen, da wir an der Leiche zwar noch die Formen und Lage der Teile sehen können, aber nicht, was an und in ihnen während des Lebens vorgeht. 14. Vivisektion.

Ein solches Experiment am lebenden Tier nennt man eine Vivisektion. Man hat vielfach die Frage erörtert, ob der Mensch das Recht zu derartigen, zuweilen sehr tiefen Eingriffen in das Leben eines Tieres habe, welche in der Regel auch nicht ausgeführt werden können, ohne den Tieren Schmerzen zuzufügen. Diese sehr ernste Frage kann hier nicht nach allen Richtungen erörtert werden.

Namentlich ist es nicht meine Absicht, die zahlreichen von Laien vorgebrachten, von Irrtümern strotzenden Schilderungen von Vivisektionen und den ungeheuerlichen Martern, welchen angeblich die armen Tiere in den physiologischen Instituten ausgesetzt werden, zu widerlegen. So grausam, wie man sie vielfach schildert, sind die Physiologen nicht. Sie sind gerade durch ihre genauere Kenntnis der Lebensvorgänge geneigt, auch im Tiere das fühlende Wesen zu achten. Daher wird es als selbstverständlich angesehen, dass man die Tiere vor dem beabsichtigten Eingriff in Schlaf versetzt (narkotisiert), soweit sich dies nicht in einzelnen, seltenen Fällen durch den Zweck des Versuchs verbietet. Von diesen seltenen Fällen abgesehen, ist die Narkose, welche das Schmerzgefühl aufhebt, sogar nützlich, da sie den Versuch von den Störungen durch die Unruhe des Tieres befreit. Entscheidend ist für uns die Überzeugung, dass Vivisektionen notwendig sind zur Aufklärung über Vorgänge, welche auf andere Weise nicht erforscht werden können. Dieser Zweck, die Wissenschaft zu fördern und Mittel zur Linderung von Not und Krankheit aufzufinden, rechtfertigt jene Eingriffe vollkommen. Ihr Nutzen für den Fortschritt der Erkenntnis der Lebenserscheinungen und für das Wohl der Menschheit wird durch die Geschichte der Wissenschaft schlagend bewiesen. Es giebt in der Physiologie und Pathologie des Menschen kaum ein Kapitel, in welchem nicht vivisektorische Versuche die Entscheidung über wichtige Probleme herbeigeführt hätten; ihnen verdankt die Menschheit ihre größten Triumphe in der Bekämpfung und Heilung von Krankheiten.

Viertes Kapitel.

Materie und Äther.

1. Die mannichfaltigen Eindrücke, welche die Naturobjekte auf uns machen, lassen sich in letzter Linie auf Unterschiede zurückführen, welche durch unsere verschiedenen Sinnesorgane bedingt sind. Wenn ein und derselbe Vorgang auf mehrere Sinnesorgane zugleich einwirkt, so ist oft einer dieser Eindrücke stärker als die anderen; er fällt uns deshalb besonders auf. Da erst eine tiefere Einsicht zu der Erkenntnis führt, dass diese Eindrücke ebenso von den Verschiedenheiten in der Einrichtung der Sinnesorgane als von den Eigenschaften der Naturobjekte oder der Art der Naturvorgänge bedingt sind, so kann es nicht Wunder nehmen, dass die ersten Versuche der Klassifizierung der Naturvorgänge allein auf die von ihnen hervorgerufenen Sinneseindrücke begründet wurden. Man unterschied Licht-, Schall-, Wärmeerscheinungen u. s. w. Daraus entstand die Vorstellung, dass es ebensoviele verschiedene Substanzen gebe, als verschiedene Wirkungen bekannt waren, eine Licht-, eine Wärmesubstanz u. s. w. Erst viel später versuchte man, die Vorgänge unabhängig von ihrer Wirkung auf unsere Sinne, ihrer eigenen Natur nach, zu erkennen und danach einzuteilen. Wie weit wir in dieser Analyse vorgedrungen sind, wird sich aus den weiteren Erörterungen ergeben. 1. Materie.

Bei allen folgenden Betrachtungen gehen wir von der Annahme aus, dass es außer dem empfindenden und seiner selbst bewussten Ich noch etwas Anderes gebe, welches von jenem Ich wahrgenommen wird. Dieses Andere, das Wahrgenommene, nennen wir die Außenwelt und das, woraus diese Außenwelt zu bestehen scheint, nennen wir Materie.[1])

[1]) Die Frage, ob der „Außenwelt" eine reale Existenz zukommt oder ob dieselbe nur in unserer Anschauung existiert, müssen wir unerörtert lassen (vgl. Kap. 1, § 3.) Unsre einzige Voraussetzung ist, dass diese Außenwelt, falls sie existiert, nur durch unsere Sinne wahrgenommen werden kann, dass sie also für unsere Anschauung auch nur soweit reale Existenz hat, als wir sie durch die Sinne erkennen. Diese reale Existenz erscheint uns vermöge unserer Wahrnehmungen so zwingend, dass selbst die philosophische Überzeugung, die Welt sei nur in unserer Anschauung vorhanden, die Empfindung ihrer Realität nicht zu vermindern vermag. Wir werden also im Folgenden von der Außenwelt sprechen, als sei ihre reale Existenz unzweifelhaft bewiesen. Die klare Einsicht des Verhältnisses der Außenwelt zur Anschauung von derselben verdanken wir vornehmlich Kant.

Die Materie scheint uns nicht gleichmäßig im Raume verteilt zu sein. Wir erhalten den Eindruck, dass sie an einzelnen „begrenzten", durch scheinbar leere Räume von einander getrennten Stellen des Raumes vorhanden sei. Diese begrenzten Mengen von Materie nennen wir Körper. Je nach den Erfahrungen, welche wir an den Körpern machen, schreiben wir ihnen verschiedene Eigenschaften zu. Form, Größe, Farbe, Härte u. s. w. können bei verschiedenen Körpern sehr verschieden sein oder können auch durch unser Zuthun verändert werden. Eine Eigenschaft aber kommt nach allen unseren Erfahrungen allen Körpern immer zu; wir bezeichnen sie mit dem Namen Schwere. Die Schwere ist also die charakteristische Eigenschaft aller Materie. Wenn auch die anderen Eigenschaften in Betracht gezogen werden, so zeigt sich, dass es verschiedene Arten von Materie geben müsse; diese werden wir zum Unterschiede Stoffe oder Substanzen nennen. Blei ist ein anderer Stoff als Glas, aber beide sind Materie.

2. Druck. 2. Legen wir ein Stück Blei auf unsere Hand, so haben wir eine Empfindung, welche wir als Druckgefühl bezeichnen. Dieselbe Empfindung wird auch, freilich nicht immer in demselben Grade, von einem Stück Kreide, Holz oder einem mit Wasser gefüllten Gefäß hervorgerufen. Binden wir über die Öffnung eines weiten Glasgefäßes eine dünne Kautschukplatte und legen wir auf diese die genannten Körper, so sehen wir, dass die Platte nach unten gewölbt wird. Der Grad der Krümmung ist verschieden, am größten bei dem Körper, welcher auch das stärkste Druckgefühl auf der Haut hervorgebracht hat. Diese und ähnliche Erfahrungen fassen wir in dem Satz zusammen, dass die Körper einen Druck auf ihre Unterlage ausüben. Ist die Unterlage eine empfindende Fläche wie unsere Haut, so wird der Druck durch das Gefühl wahrgenommen, ist sie eine biegsame Fläche wie die Kautschukplatte, so schließen wir auf den Druck aus der Gestaltsveränderung der Platte. Wenn wir die gleiche Wirkung unter Umständen beobachten, unter denen nicht zugleich durch andere Wahrnehmungen die Anwesenheit eines schweren Körpers sich erkennen lässt, so vermuten wir, dass dennoch etwas Gleichartiges vorliegen müsse. Wenn wir z. B. aus dem mit einer Kautschukplatte verschlossenen Glasgefäß die Luft auspumpen, so wird die Platte auch nach innen eingedrückt. Wir schließen daraus, dass auch die Luft ein schwerer Körper ist, und dass ihr Druck nur darum vorher sich nicht bemerklich machte, weil die sowohl oberhalb wie unterhalb der Platte befindliche Luft gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Drucke ausgeübt haben, welche sich in ihren Wirkungen auf die Kautschukplatte gegenseitig aufhoben.

Sowohl das Druckgefühl wie der Grad der Einbiegung an

der Platte belehren uns darüber, dass nicht alle Körper gleiche Drucke ausüben. Eine genaue Messung ist aber durch diese Mittel nicht möglich. Um eine solche zu erreichen, bedienen wir uns einer Wage. Wenn wir auf die beiden Enden eines gleicharmigen Hebels zwei Körper drücken lassen und finden, dass die Drucke einander das Gleichgewicht halten, so nennen wir die Körper gleich schwer. Derartige Versuche lehren, dass die Schwere oder, wie wir auch sagen, die Gewichte der Körper von zwei Umständen abhängen: 1. von ihren Dimensionen; von zwei in ihren sonstigen Eigenschaften gleichen Körpern ist derjenige, welcher das größere Volum hat, auch immer der schwerere; 2. von der Natur des Körpers; zwei Körper von gleichem Volum können dennoch sehr verschiedenes Gewicht haben. Ein Kubikdecimeter Blei ist schwerer als ein Kubikdecimeter Holz.

Um die Schwere oder das Gewicht aller Körper in Zahlen auszudrücken, benutzen wir als Maßeinheit das Gewicht eines Kubikcentimeters Wasser von $+4^{\circ}$C. Dieses Gewicht wird 1 Gramm genannt. [1])

3. Die Schwere oder das Gewicht eines Körpers ist aber keine absolut unveränderliche Größe. Sie hängt noch von etwas Anderem ab als von den Körpern selbst. Wenn wir eine lange, dünne Spiralfeder von Stahldraht an ihrem oberen Ende fest einspannen und an ihr unteres Ende eine Bleikugel hängen, so wird die Spirale, entsprechend dem Gewicht der Kugel, um einen gewissen Betrag verlängert. Hängen wir nacheinander eine, zwei, drei u. s. w. gleiche Kugeln an eine solche Spirale, so finden wir, dass die Verlängerungen zu den Gewichten in einer bestimmten, gesetzmäßigen Beziehung stehen. Wir können deshalb ein solches Instrument zur Messung der Gewichte benutzen und nennen es eine Federwage. Wenn wir eine Bleikugel an eine solche Federwage hängen und mit diesem Instrument einen hohen Turm besteigen, so werden wir finden, dass die Feder oben durch die Bleikugel um einen geringeren Betrag gedehnt wird als am Fuße des Turms. Die Bleikugel ist dieselbe geblieben, was sich geändert hat, ist einzig und allein ihre Entfernung von der Erde. [2]) Wir erkennen 3. Masse.

[1]) Das Gramm (1 g) ist, wie wir Kap. 3, § 6 gesehen haben, die Maßeinheit für die Masse. Über das Verhältnis der beiden Begriffe „Masse“ und „Gewicht“ und den Grund, warum wir die Einheit der Masse auch für die Gewichtseinheit benutzen können, vgl. den folgenden Paragraphen.

[2]) Da die Erde sowohl als auch die Bleikugel eine gewisse Ausdehnung haben, so muss man die Entfernung von den Mittelpunkten derselben aus messen, wobei man die Erde gleichfalls als Kugel ansieht. Bei Körpern von anderer Gestalt treten an die Stelle der geometrischen Mittelpunkte die sogenannten Schwerpunkte. Da die Erde in Wirklichkeit keine Kugel, sondern

daraus, dass das, was wir die Schwere der Bleikugel genannt haben, auf eine Wechselwirkung zwischen ihr und der Erde zurückgeführt werden muss. Bleikugeln von verschiedener Größe wirken verschieden; ebenso auch Bleikugeln und Holzkugeln von gleichem Volum. Also sind die Substanz und das Volum der Körper zwei der Faktoren der Wirkung; der dritte Faktor hängt von der Lage der Körper in Bezug auf die Erde ab. Wir folgern aus diesen Erfahrungen, dass wir von dem Gewicht der Körper etwas Anderes unterscheiden müssen, was ihnen unabhängig von ihrer Lage zukommt. Dieses Andere nennen wir ihre Masse. Die Masse der Bleikugel bleibt stets dieselbe; ihre Druckwirkung aber oder, wie wir es jetzt genannt haben, ihr Gewicht, hängt erstens von ihrer Masse, zweitens von der Masse der Erde und drittens von der gegenseitigen Entfernung dieser beiden Massen ab.

Wenn zwei gleiche Massen sich in gleicher Lage zur Erde befinden, so sind auch ihre Gewichte gleich. Sind die Massen ungleich, dann verhalten sich ihre Gewichte wie ihre Massen; dieselben Zahlen, welche die Massen in Grammen ausdrücken, drücken also auch ihre Gewichte (bei einer bestimmten Lage zur Erde) aus. Wenn zwei gleiche Massen auf den Schalen einer Wage liegen, so befinden sie sich in derselben Entfernung vom Erdmittelpunkt; sie wirken also in gleicher Weise auf die beiden Arme des Wagebalkens, das Gleichgewicht desselben wird nicht gestört. Dadurch ergiebt sich, wie man mittels der Wage die Masse oder das Gewicht von Körpern bestimmen kann. [1])

---

ein abgeplattetes Ellipsoid ist, so ist ein an der Oberfläche der Erde befindlicher Körper an den Polen dem Erdmittelpunkt näher als am Äquator. Wenn wir einen und denselben Körper einmal am Äquator, ein anderes Mal an einem der Pole mit der gleichen Federwage wägen würden, so würde er im letzteren Falle die Spiralfeder stärker ausdehnen; er wäre also dann schwerer. Mit einer Balkenwage ist der Nachweis dieses Einflusses der Entfernung vom Erdmittelpunkt nicht leicht zu führen. Es gelang jedoch dem Physiker Jolly in folgender Weise. Er stellte eine feine Wage in der Höhe von $5^1/_2$ m über dem Fußboden des Zimmers auf. An jeder Seite des Wagebalkens waren zwei Wagschalen über einander aufgehängt, deren vertikaler Abstand etwas über 5 m betrug. Zwei Gewichte wurden auf die oberen Schalen gelegt und in genaues Gleichgewicht gebracht. Wurde dann das eine Gewicht auf die untere Schale gesetzt, so erschien es schwerer; es musste ein geringes Übergewicht auf die andere Schale gelegt werden, um wieder Gleichgewicht herzustellen.

Die an jedem Ort der Erde bestehende Wirkung der Erde auf die Masseneinheit nennt man die Gravitationskonstante des betreffenden Orts. Von ihr hängt auch die Größe $a = 4{,}9$ ab, welche wir in Kap. 3, § 8 bei der Formel für die Fallgesetze kennen gelernt haben.

[1]) Wie schon im vorigen Kapitel erwähnt wurde, haben zahlreiche Erfahrungen zu einer der großartigsten Induktionen geführt, welche dann in allen ihren Folgerungen als richtig befunden wurde und jetzt unter dem Namen des

4. Betrachten wir irgend einen Körper von beliebiger Form, z. B. einen Glasklumpen, wie man ihn aus den Glashütten bekommen kann. Derselbe wiege 1 Kilogramm. Er stellt also eine bestimmte Masse von Materie dar. Wir zerschlagen ihn mit Hilfe eines Hammers, sorgen aber dafür, dass nichts von den großen und kleinen Trümmern verloren geht. Sie alle wiegen zusammengenommen nach wie vor 1 Kilogramm. Eines dieser Trümmer, welches etwa 10 Gramm wiegt, zerkleinern wir in einem Mörser noch weiter. Wir erhalten so ein feines Pulver, dessen einzelne Teilchen kaum noch mit bloßem Auge zu erkennen sind. Mit dem Mikroskop betrachtet erscheinen sie als kantige Splitterchen, welche in Aussehen u. s. w. dem grossen Glasstück gleichen. Jedes dieser Teilchen ist also noch Glas. Mit einer genügend feinen Wage könnten wir das Gewicht eines solchen Teilchens bestimmen; es würde irgend einen Bruchteil eines Milligramms wiegen, sagen wir $^1/_{10}$ mg. Wären alle durch das Zerkleinern erhaltenen Teilchen einander gleich, so hätte das 10 g schwere Glasstückchen 100000 (10^5) solcher Teilchen gegeben. Und wenn wir den ganzen Klumpen in der gleichen Weise teilen würden, so würden wir 10000000 (10^7) solcher Teilchen erhalten. 4. Teilbarkeit der Materie.

Nehmen wir statt des Glasklumpens einen Haufen Sand. Derselbe kann leichter als der Glasklumpen geteilt werden, wenigstens in so viele Teile, als er Körnchen enthält. Die Zahl derselben mag sehr groß sein, jedenfalls ist sie eine endliche Zahl. Wenn wir Zeit und Geduld hätten, könnten wir sie zählen. Wenn es nicht auf absolute Genauigkeit ankommt, ist die Zählung sogar sehr leicht zu

---

Newton'schen Gravitationsgesetzes bekannt ist. Dasselbe besagt, dass alle Körper aufeinander anziehend wirken im Verhältnis ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnis der Quadrate ihrer Entfernungen. Die Erscheinungen der Schwere und des von ihr abhängigen Drucks sind nur besondere Fälle dieses allgemeinen Gesetzes.

Viele einzelne Gesetze der Wirkung von Massen aufeinander, z. B. die Gesetze des freien Falls, die Pendelgesetze, die Gesetze der Bewegungen der Himmelskörper u. s. w., lassen sich aus dem Gravitationsgesetze auf deduktivem Wege ableiten.

Man hat eine Schwierigkeit darin gefunden, dass Körper, ohne sich zu berühren und ohne dass zwischen ihnen ein körperliches Agens vorhanden wäre, aufeinander wirken sollen. Die Schwierigkeit ist eine metaphysische, keine naturwissenschaftliche. Das Gravitationsgesetz hat gar nicht den Zweck zu erklären, wie die Wirkung der Körper aufeinander zu stande kommt. Es sagt nur aus, welche Gesetzmäßigkeit bei dieser Wirkung stattfindet. Was auch der metaphysische Grund jener „Anziehung" sein möge, das Gesetz, welches nichts weiter sein soll als ein genauer Ausdruck der Thatsachen, bleibt von jenen metaphysischen Erwägungen unberührt. Alle aus dem Gesetze berechneten Folgerungen stimmen mit den Beobachtungen überein. Das genügt, um das Gesetz als richtig anzuerkennen. (Vgl. Kap. 2, § 10.)

bewerkstelligen. Der ganze Haufen wiegt 1 kg. Wir wägen von ihm einen kleinen Teil ab, sagen wir 1 g. In diesem zählen wir die Körnchen und finden sie = n. Dann enthält der ganze Haufen 1000 n Körnchen.

Wir wollen vor der Hand annehmen, dass es kein Mittel gebe, die einzelnen Sandkörnchen noch weiter zu teilen. Wie steht es nun mit dem Glas? Gelangen wir bei der Teilung desselben auch an eine bestimmte Grenze, über welche hinaus die Teilung nicht fortgesetzt werden könnte, oder müssen wir annehmen, dass dieselbe ins Unendliche fortgehen kann?

Aus der Erfahrung können wir keine direkte Antwort auf diese Frage erhalten. Wir müssen also versuchen, auf Umwegen festzustellen, wie wir uns zu ihr verhalten sollen.

Wenn wir mit einem dünnen Draht in den Sandhaufen hineinstechen, finden wir nur geringen Widerstand. Zwischen den Körnchen sind mit Luft gefüllte Räume; in diese dringt der Draht ein. In den Glasklumpen können wir mit keinem Draht einstechen, und wäre er noch so fein. Daraus dürfen wir aber nur schließen, dass, wenn das Glas aus diskreten, den Sandkörnchen analogen Teilchen bestehen sollte, die Zwischenräume zwischen diesen kleiner sein müssen als die Dicke selbst des dünnsten uns zur Verfügung stehenden Drahtes. Auch am Sand würde der Versuch, in die Zwischenräume zwischen den Körnchen einzudringen, misslingen, wenn wir ihn statt mit einem dünnen Draht mit einem mehrere Centimeter dicken Stabe anstellen wollten.

Es kommt also darauf an, etwas zu finden, was fein genug ist, um in die Zwischenräume zwischen den Glasteilchen einzudringen, falls solche vorhanden sind. Ein solches Etwas ist ein Lichtstrahl. Wir wissen zwar nicht, was ein Lichtstrahl ist, aber wir können feststellen, dass er eine, wenn auch sehr geringe Dicke haben muss. Da Licht durch Glas hindurchgeht, so scheint dies also dafür zu sprechen, dass zwischen den Glasteilchen Zwischenräume vorhanden sind.

Diese Schlussfolgerung wird wesentlich gestützt durch folgende Betrachtung. Wenn man Glas einem starken Druck aussetzt, so kann man es zusammenpressen. Besteht das Glas aus diskreten Teilchen, so können wir vermuten, dass in der Richtung des Zusammenpressens die Zwischenräume zwischen den Teilchen kleiner werden als in der darauf senkrechten Richtung. Dann müsste sich zeigen, dass der Durchgang des Lichts in der einen Richtung in anderer Weise erfolgt, als in der anderen. Und das ist wirklich der Fall. [1])

[1]) Ein gewöhnlicher Lichtstrahl kann verglichen werden mit einem dreh-

5. Die Materie besteht aus diskreten Teilchen.

5. Wenden wir unsere Aufmerksamkeit einem andern Körper zu, dem Wasser. Wir werfen in ein Gefäß, in welchem sich Wasser befindet, ein großes Stück Zucker. Der Zucker zerfällt und löst sich, wie man sagt, in dem Wasser auf. Wir rühren mit einem Glasstab um und bringen von der so gleichmäßig durchgemischten Flüssigkeit einen Tropfen auf eine Glasplatte. Der Tropfen sieht vollkommen homogen aus. Dennoch muss er aus einem innigen Gemenge von Wasser und Zucker bestehen. Dafür spricht schon der süße Geschmack. Wenn wir den Tropfen auf der Glasplatte verdunsten lassen, so bleibt ein Belag von kleinen Zuckerteilchen zurück. Wenn Zucker und Wasser in dem Tropfen innig gemengt waren, so müssen die Zuckerteilchen zwischen die Wasserteilchen eingedrungen sein. Beide müssen also wohl aus diskreten Teilchen bestehen.

In eine große Flasche von mehreren Litern Inhalt bringen wir eine geringe Menge Wasser und verschließen sie. Ein Teil des Wassers verdunstet und erfüllt die Flasche mit Wasserdampf. Die Menge des so in Gasform übergehenden Wassers ist für jede Temperatur eine ganz bestimmte; der Rest des Wassers bleibt unverändert am Boden liegen. Wir machen denselben Versuch mit Alkohol statt mit Wasser. Auch hier geht eine ganz bestimmte Menge von Alkohol in Dampfform über. In einem dritten Versuch mit Äther ist der Erfolg der gleiche.

Wir haben jetzt also drei Flaschen. Die eine enthält Wasserdampf, die zweite Alkoholdampf, die dritte Ätherdampf. Jeder dieser Dämpfe erfüllt die Flasche ganz, mehr kann die Flasche nicht aufnehmen, wie wir deutlich daraus sehen, dass noch Reste der Flüssigkeiten am Boden liegen bleiben, ohne weiter zu verdunsten. Nun nehmen wir eine vierte Flasche und bringen in dieselbe drei Tropfen; je einen von Wasser, Alkohol und Äther. Wenn wir nachher diese Flasche untersuchen, so finden wir, dass alle drei Dampfarten die Flasche erfüllen und zwar jede in der Menge, als wenn sie nur allein vorhanden wäre. Der Raum also, welcher von Wasserdampf

runden Stab; er hat nach allen Richtungen gleiche Dicke. Es giebt aber Lichtstrahlen (man nennt sie polarisiert), deren Dicke in der einen Richtung größer ist als in der darauf senkrechten, die man also mit einer dünnen Lamelle oder einer Messerklinge vergleichen könnte. Ein solcher polarisierter Lichtstrahl geht durch gewöhnliches Glas nach allen Richtungen gleichgut hindurch. Presst man aber das Glas in einer Richtung stark zusammen, so geht der polarisierte Lichtstrahl in dieser Richtung schwerer hindurch als in der darauf senkrechten.

Eine sehr lehrreiche Abänderung dieses Versuchs ist die folgende. Man lässt das polarisierte Licht durch einen Glasstreifen gehen und versetzt denselben in tönende (sogenannte longitudinale) Schwingungen. Dadurch entstehen in dem Glase Stellen der Verdichtung und der Verdünnung in regelmäßigen Abständen. Dementsprechend ist auch der Durchgang des Lichtes an diesen Stellen verschieden.

erfüllt ist und welcher keinen weiteren Wasserdampf mehr aufnehmen konnte, konnte doch noch Alkohol- und Ätherdampf aufnehmen. Hätte der Wasserdampf den Raum kontinuierlich erfüllt, so wäre nicht zu verstehen, wie in eben diesem Raum noch die beiden andern Dämpfe hätten Platz finden können. Wenn wir noch bedenken, dass die Flaschen auch noch Luft enthielten, d. h. ein Gemenge zweier Gase, Sauerstoff und Stickstoff, so kommen wir zu dem Schluss, dass Gase und Dämpfe[1]) einander vollkommen frei durchdringen. Das wäre unmöglich, wenn die Gase oder Dämpfe den Raum, in dem sie sich befinden, kontinuierlich erfüllen würden. Es wird aber leicht verständlich, wenn wir annehmen, dass sie aus diskreten Teilchen bestehen, zwischen denen Lücken (leere Räume) sind.

Dieselbe Betrachtung passt auch für die Lösung des Zuckers in Wasser. Wenn das Wasser den Raum, den es einnimmt, kontinuierlich erfüllen würde, wäre es unverständlich, wie die Zuckerteilchen in demselben Raume sich verteilen könnten.

6. Grenze der Teilbarkeit.

6. Es ist allgemein bekannt, dass Wasser, in welchem Seife aufgelöst ist, eine große Zähigkeit besitzt, wodurch es zur Bildung von Seifenblasen geeignet wird. Namentlich, wenn man noch etwas Glyzerin zufügt, können die Blasen sehr groß und ihre Wandstärke dementsprechend sehr gering gemacht werden. Taucht man in solches Wasser, das sich in einer flachen Schale befindet, die Öffnung eines Becherglases, so bleibt, wenn man das Glas wieder herauszieht, eine dünne Wasserhaut an ihm hängen, welche die Öffnung wie eine Blase verschließt. Halten wir das Glas so, dass die Haut vertikal steht, und lassen helles Licht auf dieselbe fallen, so schillert die Haut in zarten Farben, wie dies auch die Haut der Seifenblasen thut. Diese Farben bieten ein Mittel, die Dicke der Haut zu berechnen. Da das Wasser wegen seiner Schwere nach unten sickert, wird die vertikal stehende Haut in den oberen Teilen immer dünner, bis sie zuletzt reißt. Ehe das Reißen erfolgt, erscheint der obere Teil der Haut schwarz oder grau. Es ist berechnet worden, dass ihre Dicke dann weniger als 0,000166 mm betragen muss. Dünner, scheint es, kann die Membran nicht werden, ohne zu zerreißen.

An diesen einfachen Versuch lassen sich folgende Betrachtungen knüpfen. Wäre das Wasser eine homogene Substanz, dann könnte man sich vorstellen, dass es sich bis zu unbegrenzter Dünne ausdehnen lassen müsste. Wenn es aber aus diskreten, in festen Abständen voneinander befindlichen Partikeln besteht, dann muss der Zusammenhang unterbrochen werden und die Wasserhaut muss reißen, sobald durch die Schwere jene Partikelchen weiter voneinander

[1]) Über die Begriffe Gase und Dämpfe vgl. Kap. 6.

entfernt werden, als ihrem normalen Abstand voneinander entspricht. Da das Zerreißen immer dann eintritt, wenn die Dicke der Membran unter eine ganz bestimmte, zwar sehr kleine, aber immer noch endliche und messbare Größe sinkt, so scheint es, als ob bei dieser Dicke die Grenze erreicht wäre, über welche hinaus die hypothetischen Partikelchen im flüssigen Wasser nicht weiter voneinander entfernt werden können.

7. Zu derselben Schlussfolgerung führen die Erscheinungen, welche die Körper unter dem Einfluss von Druck- oder Temperaturveränderungen aufweisen; es können das Änderungen des Volums oder des Aggregatzustandes sein. Wenn Wasser bei einem Druck von einer Atmosphäre aus dem flüssigen in den gas- oder dampfförmigen Zustand übergeht, vergrößert sich sein Volum im Verhältnis von 1:1700. Gase oder Dämpfe haben aber überhaupt kein konstantes Volum, sondern dieses hängt in gesetzmäßiger Weise von dem Druck ab, unter welchem sie stehen. Hiervon wird an einer späteren Stelle die Rede sein. Vorerst genügt es, darauf hinzuweisen, dass auch diese Erscheinungen verständlich werden, wenn man annimmt, dass die Körper aus diskreten Teilchen bestehen, und dass die Volumsänderungen zu stande kommen, indem der mittlere Abstand dieser Teilchen sich ändert. Diese Hypothese führt auch zu einer annehmbaren Vorstellung über den Unterschied der Aggregatzustände. Wir können uns nämlich denken, dass bei festen Körpern die Abstände und die Lagen der hypothetischen Partikelchen gegeneinander bestimmte, durch äußere Kräfte verhältnismäßig wenig veränderliche sind. Bei flüssigen Körpern sind zwar die Abstände der Teilchen bestimmte, nur innerhalb enger Grenzen veränderliche; die Teilchen sind aber gegeneinander, unter Einhaltung jener Abstände, sehr leicht verschiebbar. Bei gasförmigen Körpern endlich ist sowohl der Abstand wie die Lage der Teilchen gegeneinander von den äußeren Bedingungen in hohem Grade abhängig, daher leicht veränderlich. 7. Volums- und Aggregatsveränderungen der Körper.

Unter diesen Umständen sind wir wohl berechtigt, die Annahme, dass alle Materie aus diskreten, durch leere Räume[1]) getrennten Teilchen bestehe, für eine plausible, der weiteren Untersuchung zu Grunde zu legende Hypothese anzusehen. Dieselbe erweist sich als sehr wertvoll, da sie eine große Zahl von Naturerscheinungen auf die einfachste Weise anschaulich zu machen geeignet ist.

---

[1]) Es bleibt einer späteren Betrachtung vorbehalten, zu untersuchen, ob diese Räume wirklich leer sind, oder ob wir uns vorstellen müssen, dass sie von etwas Anderem, das nicht Materie oder eine andere Art von Materie ist, erfüllt sind. (Vgl. § 16 u. 17.)

Wir nennen diese hypothetischen Teilchen Molekeln. Da es sehr verschiedenartige Stoffe giebt, welche in ihren Eigenschaften voneinander abweichen, so muss es ebensoviele unter sich verschiedene Arten von Molekeln geben. Die Molekeln einer und derselben, homogenen oder in sich gleichartigen Substanz müssen einander vollkommen gleich sein. Besteht ein Körper aus Molekeln verschiedener Art, so ist er ein Gemenge verschiedener Stoffe.

Eine einheitliche, aus lauter gleichen Molekeln bestehende Substanz kann in ihrer äußeren Erscheinung veränderlich sein, je nach der Lage, der Entfernung, dem Bewegungszustand ihrer Molekeln. Wasser kann bekanntlich in drei Aggregatzuständen vorkommen; trotzdem dürfen wir annehmen, dass seine Molekeln in allen diesen Zuständen durchaus gleiche Beschaffenheit haben. Änderten sie sich, so wären sie eben nicht mehr Wassermolekeln. Ebenso haben die Molekeln des Glases bestimmte Eigenschaften, durch die sie sich von allen anderen, die nicht Glasmolekeln sind, unterscheiden. Wir können deshalb auch sagen, die Molekeln sind die kleinsten Teilchen einer Substanz, denen noch alle Eigenschaften der Substanz zukommen; eine homogene Substanz ist nichts weiter als die Summe aller ihrer untereinander gleichartigen Molekeln.

8. Zweierlei Arten von Naturvorgängen.

8. Wenn wir sämtliche uns bekannte Arten von Naturvorgängen einer Musterung unterziehen, so ergiebt sich, dass wir einen Teil derselben darstellen können unter der Annahme, dass die hypothetischen Molekeln in ihrem Bestand erhalten bleiben und nur ihre Lage im Raume verändern. Entweder bleiben die Molekeln, aus denen die Körper bestehen, in ihrer gegenseitigen Lage erhalten; nur die Körper als Ganze ändern ihren Ort auf der Erde oder im Weltenraum. Hierher gehören alle Vorgänge, welche in den Bereich des Gravitationsgesetzes fallen, die Bewegungen der Gestirne, das Fallen von Körpern und dergleichen. Oder aber die Molekeln eines oder mehrerer Körper ändern ihre Lage gegeneinander, wobei aber die Molekeln selbst unverändert bleiben. Hierher gehören die Erscheinungen der Elastizität, der Volumsänderungen bei Schwankungen der Temperatur und des Drucks, der Lösung u. s. w. Im Gegensatz hierzu ändern sich bei einer Reihe von Erscheinungen die Eigenschaften der Stoffe selbst; an die Stelle gewisser, wohl definierter Stoffe treten andere mit ganz anderen Eigenschaften. Wenn wir Schwefel und Eisen, beide in fein verteiltem Zustand, mit einander mischen, so behalten beide durchaus alle ihre Eigenschaften. Mit dem Mikroskop würden wir in dem Gemenge die einzelnen Schwefel- und Eisenteilchen noch unterscheiden können; mit Hilfe eines Magneten, welcher die Eisenteilchen anzieht, auf die Schwefelteilchen aber keine merkliche Wirkung aus-

übt, könnten wir sie wieder vollkommen voneinander trennen. Wenn wir aber das Gemenge von Schwefel und Eisen an einer Stelle erhitzen, so gerät die ganze Masse in heftiges Glühen. Wenn sie wieder erkaltet ist, finden wir an Stelle des früheren Pulvers eine harte, glänzende Masse, welche weder Schwefel noch Eisen ist, sondern ein anderer Stoff mit ganz anderen Eigenschaften, welchen wir Eisensulfid oder Schwefeleisen nennen.

9. Verbindung und Zerlegung von Stoffen.

9. Wir sagen, dass sich in diesem Falle die Substanzen Eisen und Schwefel miteinander vereinigt haben, und dass aus dieser Vereinigung der neue Stoff Eisensulfid entstanden ist. Das Eisensulfid ist vollkommen homogen; alle seine Bruchteile haben durchaus gleiche Beschaffenheit, und wenn es aus Molekeln besteht, so können es nur Eisensulfidmolekeln sein. Dennoch müssen wir annehmen, dass in diesen Molekeln sowohl Eisen als Schwefel enthalten, dass sie also zusammengesetzt sein müssen und eventuell in diese Bestandteile zerlegt werden könnten.

Betrachten wir ein anderes Beispiel: Wir füllen ein Gefäß mit Wasser, dem wir etwas Schwefelsäure zufügen; im Gefäß befinden sich zwei Platinbleche, welche durch Kupferdrähte mit den Polen einer starken elektrischen Batterie verbunden sind. Dann geht ein elektrischer Strom durch das Wasser. Wir sehen, dass sich die Platinbleche mit Gasbläschen bedecken, welche sich loslösen und an die Oberfläche des Wassers aufsteigen. Wenn wir über die beiden Bleche je eine mit Wasser gefüllte Röhre stülpen, können wir die Gase getrennt auffangen. Eine Untersuchung derselben ergiebt, dass

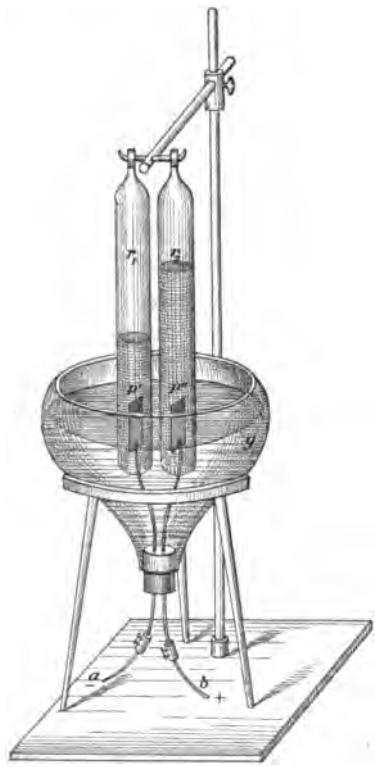


Fig. 1.

Zerlegung von Wasser durch den elektrischen Strom.

Die Drähte a und b werden mit den Polen einer elektrischen Batterie verbunden, a mit dem negativen Pol (Kathode), b mit dem positiven (Anode). Die von a und b ausgehenden Drähte sind durch Siegellacküberzug isoliert, die mit ihnen verlöteten Platinbleche p' und p'' sind blank. Das Gefäss g und die Röhren r_1 und r_2 sind mit angesäuertem Wasser gefüllt. In r_1 sammelt sich Wasserstoff, in r_2 Sauerstoff an.

das eine Sauerstoff, das andere Wasserstoff ist, mit allen den Eigenschaften, welche diesen Gasen auch dann zukommen, wenn sie auf andere Weise dargestellt worden sind. Wir mischen die beiden Gase, nachdem wir sie sorgfältig getrocknet haben, und leiten sie in eine trockene Röhre über Quecksilber. Wir lassen einen elektrischen Funken durch das Gemenge schlagen. Es entsteht eine kleine Explosion; nach derselben sind die Gase verschwunden, statt ihrer aber finden wir eine geringe Menge Wasser in der Röhre.

Hier haben wir also zwei einander entgegengesetzte Vorgänge. In dem zweiten ist durch Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff Wasser entstanden; dieser Vorgang ist also ganz analog der Bildung des Eisensulfids aus Schwefel und Eisen. In dem ersten dagegen wurde das Wasser in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt.[1])

Solcher Versuche könnten wir noch viele anstellen. Sie alle würden uns dasselbe lehren: Es giebt Stoffe, die sich unter gewissen Bedingungen miteinander vereinigen; der aus der Vereinigung hervorgehende neue Stoff hat ganz andere Eigenschaften als die Komponenten, durch deren Vereinigung er entstanden ist. Und es giebt andere Stoffe, die sich zerlegen lassen in zwei oder mehr andere Stoffe, wiederum von anderen Eigenschaften als die des Stoffes, aus dessen Zerlegung sie hervorgegangen sind. Es giebt aber drittens auch eine Reihe von Stoffen, welche mit allen bisher bekannten Mitteln nicht zorlegt werden können. Man nennt sie Elemente oder einfache Stoffe. Solche Elemente sind die in unseren Beispielen vorkommenden Stoffe Eisen, Schwefel, Sauerstoff, Wasserstoff. Mit dem Studium der Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen, der Methoden, die zur Zerlegung der letzteren und zur Bildung von zusammengesetzten Stoffen aus ihren einfacheren Bestandteilen dienen, beschäftigt sich die Chemie, während Vorgänge, welche den Bestand der Molekeln unverändert lassen, in das Gebiet der Physik fallen.

10. Atome.

10. Man kennt bis jetzt einige siebzig Elemente, von denen einige, in sehr geringer Menge vorhandene, erst in neuerer Zeit, zum Teil erst in den letzten Jahren entdeckt worden sind. Manche dieser Elemente sind im freien Zustande, d. h. nicht mit anderen verbunden, in der Natur aufgefunden worden. Die große Mehrzahl aber der in der Natur vorkommenden Stoffe besteht aus Verbindungen jener Elemente. Außerdem ist noch eine große Zahl wohlbekannter Verbindungen der Elemente künstlich in Laboratorien und Fabriken hergestellt worden, welche in der Natur nicht

[1]) Wasser besteht in der That nur aus diesen beiden Bestandteilen. Die in dem Versuch hinzugefügte Schwefelsäure diente nur dazu, die Leitungsfähigkeit des Wassers für den elektrischen Strom zu verbessern.

vorkommen, Die möglichen Kombinationen der Vereinigung der jetzt bekannten Elemente untereinander ist ungeheuer, und zahlreiche Chemiker arbeiten daran, fortwährend neue Verbindungen darzustellen, teils aus rein wissenschaftlichem Interesse, teils mit der bewussten Absicht, die Technik oder den Arzneischatz durch neue, bisher unbekannte Stoffe zu bereichern.

Es ist selbstverständlich, dass die Molekeln von solchen Stoffen, welche Verbindungen von Elementen sind, zusammengesetzt sein müssen, da sie ja noch weiter zerlegt werden können. Wenn man aber die Molekeln eines solchen zusammengesetzten Stoffes, z. B. Glas oder Wasser, noch weiter zerlegt, so hat man es nicht mehr mit Glas oder mit Wasser, sondern mit ganz anderen Stoffen zu thun. Mit mechanischen Mitteln ist eine Zerlegung der Molekeln allerdings nicht zu bewerkstelligen; durch sie kann im alleräußersten Falle, wie wir es bei der dünnen Wasserhaut in dem § 6 beschriebenen Versuch wahrscheinlich gemacht haben, ein Stoff in eine flächenhaft ausgebreitete Schicht einzelner Molekeln ausgezogen werden. Wohl aber kann durch andere physikalische Einwirkungen, wie Erhöhung der Temperatur, elektrische Strömung u. s. w. eine wirkliche Zerlegung der Molekeln zu stande kommen. Erscheinungen dieser Art bilden den Gegenstand einer eigenen Wissenschaft, welche physikalische Chemie genannt wird. Das wirksamste Mittel zur Zerlegung aber ist die Wechselwirkung verschiedener Stoffe aufeinander, wobei die sogenannte chemische Verwandtschaft zur Geltung kommen kann. Vorgänge dieser Art bilden den Inhalt der Chemie im engeren Sinne.

Die kleineren Teile, aus denen demnach die Molekeln der zusammengesetzten Stoffe bestehen müssen, nennen wir Atome. Wenn Eisensulfid eine Verbindung von Eisen und Schwefel ist, so besteht jede Molekel Eisensulfid notwendigerweise aus diesen Elementen, enthält also Eisenatome und Schwefelatome nebeneinander. Ebenso muss jede Wassermolekel Sauerstoffatome und Wasserstoffatome enthalten. Ähnlich muss es bei allen zusammengesetzten Stoffen sein. Dagegen kann es fraglich erscheinen, ob die Molekeln der einfachen Stoffe, d. h. derjenigen, welche durch kein uns bekanntes Mittel in einfachere zerlegt werden können, also der Elemente, noch zusammengesetzt sind. Ist dies der Fall, dann sind die Atome, aus denen ihre Molekeln bestehen, von gleicher Art, d. h. eine Molekel Sauerstoff besteht dann aus Sauerstoffatomen, eine Molekel Wasserstoff aus Wasserstoffatomen u. s. w. Im anderen Falle aber wäre die Molekel einfach, nicht weiter teilbar; der Begriff Molekel und der Begriff Atom wären für diese Fälle identisch.

Aus den Erfahrungen der Chemie hat man den Schluss gezogen,

dass auch die Molekeln der Elemente in der Regel aus mehreren Atomen, gewöhnlich zweien, bestehen, z. B. eine Wasserstoffmolekel aus zwei Atomen Wasserstoff. Es giebt aber auch Elemente, deren Molekeln man sich aus mehr als zwei Atomen aufgebaut denken muss, und andere, deren Atome für sich allein existieren, oder, wie wir auch sagen können, deren Molekeln nur aus je einem Atom bestehen. Beispiele der Art und die Gründe, welche man für diese Auffassung hat, werden wir später kennen lernen. Dort werden wir auch erfahren, dass die Molekeln von Verbindungen unter Umständen aus einer sehr großen Zahl von Atomen bestehen können. Es giebt Verbindungen, welche aus 4, 5 oder mehr Elementen bestehen, d. h. in diese zerlegt werden können, und bei denen wir gute Gründe haben, anzunehmen, dass mehrere Atome von jedem dieser Elemente in einer Molekel vereinigt sind. Wir sind nicht imstande, eine obere Grenze für die Zahl der Atome anzugeben, welche zusammen noch eine Molekel bilden können. Wir kennen Stoffe, bei denen es wahrscheinlich ist, dass ihre Molekeln aus Hunderten, ja sogar Tausenden von Atomen bestehen.

Die kleinsten Partikelchen der Stoffe, welche wir Atome nennen, sind mit unveränderlichen Eigenschaften ausgestattet, durch welche sie sich von allen anders beschaffenen Atomen unterscheiden. Ein Sauerstoffatom hat andere Eigenschaften als ein Wasserstoffatom, ein Schwefelatom andere als ein Eisenatom u. s. w. So mannichfache Verbindungen die Atome auch untereinander eingehen, sobald sie wieder aus den Verbindungen abgeschieden sind, haben sie alle ihnen eigentümlichen Eigenschaften wieder wie vor der Verbindung. Es ist noch niemals gelungen, irgend ein Element in ein anderes umzuwandeln. Sauerstoff bleibt immer Sauerstoff, Eisen bleibt immer Eisen. Wir haben Grund, anzunehmen, dass dies von jeher so gewesen ist und auch ferner so sein wird.

Die sorgfältigsten, immer und immer wieder mit den besten Hilfsmitteln wiederholten Untersuchungen der Chemiker haben ferner gelehrt, dass die Elemente sich nicht in beliebigen, sondern in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen miteinander vereinigen. Um nur bei den von uns schon betrachteten Beispielen zu bleiben: $3^1/_2$ g Eisen und 2 g Schwefel verbinden sich miteinander zu $5^1/_2$ g Eisensulfid; 8 g Sauerstoff und 1 g Wasserstoff verbinden sich zu 9 g Wasser. Mischt man Elemente, welche eine chemische Verbindung eingehen können, miteinander in einem anderen als dem für diesen Fall allein richtigen Verhältnis und stellt die Bedingungen her, unter denen die Vereinigung sich vollzieht, so bleibt von demjenigen Element, welches im Überschuss vorhanden ist, der entsprechende Bruchteil unverbunden.

11. Aus den angeführten Beispielen geht hervor, dass die in einer Verbindung enthaltene Masse genau gleich ist der Summe der Massen, aus welchen die Verbindung hervorgegangen ist. Wenn man andererseits Wasser zerlegt, und die dabei auftretenden Gase auffängt, so erhält man für jedes Gramm zersetzten Wassers genau $^8/_9$ g Sauerstoff und $^1/_9$ g Wasserstoff. Die Summe der Massen der Bestandteile ist also gleich der Masse der Verbindung, aus der sie abgeschieden worden sind. 11. Unveränderlichkeit der Massen.

So mannigfach auch die Prozesse sind, welche die Chemiker in ihren Laboratorien ausgeführt haben und täglich neu ausführen, immer zeigt sich dasselbe. Seit LAVOISIER (1743—1794) zuerst durch genaue Wägungen nachgewiesen hat, dass bei chemischen Vorgängen das Gewicht der Materie unverändert bleibt, sind die einfachsten wie die verwickeltsten chemischen Prozesse unzählige Male von den namhaftesten Forschern mit der größten Sorgfalt und den besten Hilfsmitteln daraufhin untersucht worden, und stets hat sich dasselbe gefunden. Niemals ist irgendwo irgend eine Ausnahme beobachtet worden. Das Gleiche gilt auch von allen anderen Naturvorgängen, mögen sie an unbelebten Körpern oder in den lebenden Wesen vor sich gehen. Eine Pflanze oder ein Tier nehmen fortwährend Stoffe aus der Umgebung auf und geben Stoffe an die Umgebung ab. In ihnen vollziehen sich verwickelte physikalische und chemische Prozesse. Überall, wo wir diese Prozesse mit der Wage verfolgen, finden wir, dass die Summe des Anfangsgewichtes + dem Gewicht der eingenommenen Materie gleich ist der Summe des Endgewichtes + dem der ausgegebenen Materie. Wir haben auch nicht den mindesten Anhalt dafür, dass es Naturvorgänge geben könne, bei denen es anders wäre.

Die Erkenntnis dieser Unveränderlichkeit der Masse der Materie ist von einschneidender Bedeutung für das Verständnis der Naturvorgänge gewesen. Erst seitdem man eingesehen hat, dass beim Wachsen und Absterben von Pflanzen und Tieren Materie weder entsteht noch vergeht, dass die Gewichtszunahme der Metalle bei der Oxydation von der Verbindung mit Sauerstoff herrührt, während die Gewichtsabnahme von Holz, Kohle und dergleichen bei der Verbrennung, die Gewichtsverluste der Tiere bei der Atmung dadurch zu stande kommen, dass ein Teil der Verbrennungsprodukte (Kohlendioxyd und Wasser) in Gasform entweicht, war der Erforschung der chemischen Prozesse eine sichere Grundlage gegeben. Die für diese und ähnliche Vorgänge gewonnene Einsicht hat sich aber, wie gesagt, als allgemeingiltig für alle Naturvorgänge erwiesen. Somit sind wir wohl berechtigt, anzunehmen, dass jener Satz auch da Geltung haben werde, wo wir wegen der

Schwierigkeit der Umstände, den Nachweis nicht zu führen vermögen. Wir stellen deshalb als Ergebnis aller Untersuchungen über die Materie folgenden Satz auf:

Erster Hauptsatz der Naturwissenschaft:

Die Summe aller in der Natur vorhandenen Materie ist unveränderlich; sie kann durch keinen uns bekannten Naturvorgang vermehrt oder vermindert werden[1]).

12. Unveränderlichkeit der Stoffe.

12. Diese Unveränderlichkeit der einmal vorhandenen Masse gilt nicht bloß von der Gesamtheit aller Materie, sondern auch von den einzelnen, qualitativ verschiedenen Arten von Materie. Auch von jedem einzelnen Stoff sind bestimmte Mengen ein für allemal gegeben, welche weder vermehrt noch vermindert werden können. Wir kennen kein Mittel, durch welches ein Element in ein anderes umgewandelt werden könnte. Gold, Silber, Eisen, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor u. s. w. können untereinander und mit anderen Elementen die mannigfachsten Verbindungen eingehen. Wenn man diese zerlegt, so gewinnt man die Elemente wieder, jedes in der Menge, in welcher es in den Verbindungen enthalten war. Kleine Differenzen bei der Berechnung der Analysen erklären sich genügend aus der Unvollkommenheit der Methoden, welche zur Trennung der Elemente voneinander dienen, und den unvermeidlichen Versuchsfehlern. Je mehr man jene verbessert, desto kleiner werden die Abweichungen.

Solche Verbesserungen können dazu führen, neue Elemente aufzufinden, welche bis dahin von anderen nicht unterschieden, sozusagen auf das Konto der anderen gebucht waren. Ein lehrreiches Beispiel dafür ist die Auffindung der Elemente Argon, Helium, Krypton, Neon und Antargon in der atmosphärischen Luft durch Lord RAYLEIGH und WILLIAM RAMSAY in den Jahren 1894—1898. Die atmosphärische Luft besteht nach den besten bisherigen Analysen aus etwas mehr als 20% Sauerstoff, rund 79% Stickstoff und geringen Mengen anderer Gase, Kohlendioxyd, Ammoniak u. s. w. Entfernt man diese und allen Sauerstoff und komprimiert den Rest, welcher früher für reinen Stickstoff gehalten wurde, bei sehr niedriger Temperatur, so wird der Stickstoff verflüssigt. Ein kleiner Rest aber, welcher hauptsächlich aus Argon besteht, bleibt gasförmig, da Argon und die anderen genannten Gase erst bei einem noch höheren Druck in den flüssigen Zustand übergehen.

---

[1]) Manche nennen diesen Satz das Gesetz von der Erhaltung der Materie. Das Wort Erhaltung wird dabei in der Bedeutung Unzerstörbarkeit, Unveränderlichkeit gebraucht.

Der Stickstoff geht mit vielen anderen Elementen chemische Verbindungen ein; zwar ist seine Affinität oder Verbindungsfähigkeit keine große, aber immerhin eine viel stärkere als die des Argons. Bei der Analyse von Stickstoffverbindungen ergaben sich deshalb kleine Abweichungen, aus denen man schließen konnte, dass nicht alles das in der atmosphärischen Luft, was man Stickstoff nannte, in die Verbindungen eingegangen war. Diese Abweichungen sind jetzt durch die Auffindung des Argons aufgeklärt. Ähnlich verhält es sich mit der Auffindung anderer, früher unbekannter, selten vorkommender Elemente, welche von ihren ihnen sehr ähnlichen Begleitern früher nicht genügend getrennt werden konnten. Deswegen ist natürlich die absolute Menge jedes einzelnen existierenden Elements nicht geändert worden. Solange wir Argon von Stickstoff nicht zu trennen vermochten, haben wir die Menge des letzteren zu hoch geschätzt, aber sie war deswegen doch gerade so groß, als sie jetzt ist, und das Argon existierte auch schon, ehe wir es kannten.

Ebenso kann es natürlich auch noch in anderen Fällen gehen; es können noch mehr neue, bisher unbekannte Elemente entdeckt werden, oder es werden vielleicht einige Elemente aus der Liste gestrichen werden müssen, falls sie als identisch mit andern erkannt werden sollten. Es giebt Elemente, die in zwei oder mehr sogenannten allotropischen Modifikationen vorkommen (Schwefel und Phosphor sind Beispiele hierfür); so wäre es auch möglich, dass zwei Elemente, welche wir jetzt für qualitativ verschiedene Stoffe ansehen, sich als Modifikationen desselben Elements ausweisen. Dann würde es natürlich möglich sein, den einen dieser „Stoffe“ in den anderen zu „verwandeln“, aber doch nur scheinbar, weil sie eben in Wahrheit einer und derselbe Stoff sein würden. Was wir Elemente nennen, sind solche Stoffe, welche wir mit unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln nicht weiter zu zerlegen und nicht in andere Stoffe zu verwandeln imstande sind. Was die Zukunft uns in dieser Beziehung noch lehren wird, müssen wir dahingestellt sein lassen. Wer Lust am Spekulieren hat, kann sich denken, alle Elemente seien nur Modifikationen eines und desselben Grundstoffes. Dann gäbe es nur eine Art von Materie und deren Masse wäre unveränderlich, so wie jetzt (d. h. für unsere jetzt bekannten Hilfsmittel) die Masse jedes einzelnen Elements. Wenn wir alle Materie als aus Molekeln und diese wieder aus Atomen bestehend uns vorstellen, dann können wir auch annehmen, dass die letzteren aus noch kleineren Einheiten jener Urmaterie zusammengesetzt seien. Aus der Zahl und Anordnung dieser Uratome wären dann die Eigenschaften dessen, was wir jetzt Atome der einzelnen Elemente nennen, abzuleiten. Aber solche Spekulationen gehen über das Gebiet dessen, was aus den bis jetzt bekannten und gut begründeten Thatsachen gefolgert werden kann, hinaus.

13. Atomgewicht und Molekulargewicht.

13. Wir wollen uns daher vorläufig mit den gewonnenen Anschauungen begnügen und annehmen, dass alle Materie aus diskreten Partikelchen, den Molekeln, und diese wieder aus Atomen bestehen. Wir werden im folgenden sehen, wie weit wir mit diesen Anschauungen gelangen, wie weit es möglich ist, die Naturvorgänge unter diesen Voraussetzungen anschaulich darzustellen. Aus allem, was wir bisher erfahren haben, geht aber auch hervor, dass wir uns unter einem Atom nicht nur eine sehr kleine Menge von Materie von ganz bestimmten qualitativen Eigenschaften, sondern auch eine ganz bestimmte Masse solcher Materie zu denken haben, mit anderen Worten, dass jedes Atom, vorausgesetzt, dass alle Wägungen unter den gleichen Bedingungen[1]) vorgenommen werden, ein bestimmtes Gewicht hat.

Dieses Atomgewicht hängt von der Natur des Atoms ab, ist also für jedes Element ein anderes. Man bestimmt es durch Vergleichung mit dem Atomgewicht eines bestimmten Elementes, dessen Gewicht als Einheit dient. Als solches hat man das Atomgewicht des Wasserstoffes gewählt, weil man gefunden hat, dass es kleiner ist als das aller anderen Elemente. Allerdings können wir das Gewicht eines Atoms Wasserstoff und demnach auch das aller anderen Arten von Atomen nicht in unserem gewöhnlichen Maßsystem angeben, etwa in Bruchteilen von Milligrammen, da wir ein Atom nicht zu isolieren und einzeln zu wägen imstande sind. Aber darauf kommt es auch gar nicht an. Wägungen sind, wie alle Messungen, immer nur Vergleichungen. Wenn wir sagen, ein Körper, z. B. ein Stück Glas, wiege 30 g, so heißt das nur, dass er ebensoviel Masse enthalte wie 30 cm^3 Wasser von 4^0 C. Und wenn wir sagen: das Atomgewicht des Stickstoffes sei gleich 14, so heißt das, dass in einem Atom Stickstoff ebensoviel Masse enthalten sei als in 14 Atomen Wasserstoff. Weiteres hierüber werden wir in Kapitel 7 erfahren.

Die Summe der Gewichte der zu einer Molekel vereinigten Atome stellt das Molekulargewicht, das Gewicht einer Molekel eines bestimmten Stoffes dar, möge er ein Element oder eine chemische Verbindung sein. Wenn man die Atomgewichte und die Anzahl der verschiedenen, in einer Molekel enthaltenen Atome kennt, kennt man auch das Molekulargewicht, denn dieses ist eben die Summe der Gewichte aller Atome. Die betreffenden Zahlen geben an, wieviel Masse in einer Molekel des betreffenden Stoffes

[1]) D. h. bei gleichem Wert für die Gravitationskonstante. (Vergl. § 3, S. 69, Anm. 2) In diesem Falle kann, wie wir gesehen haben, die Masse dem Gewicht gleichgesetzt, erstere also durch das letztere bestimmt werden.

enthalten ist in Einheiten derjenigen Masse, welche einem Atom Wasserstoff zukommt.

14. Jeder Körper nimmt einen begrenzten Teil des Raumes ein. Dabei ist es gleichgiltig, ob er diesen Raumteil kontinuierlich erfüllt, oder ob er, wie wir angenommen haben, aus diskreten, leere Räume zwischen sich lassenden materiellen Teilchen besteht. Die messbare Größe des von dem Körper eingenommenen Raumes nennen wir sein Volum. Das Volum hängt, wie wir wissen, von der Temperatur und dem Druck ab, die Masse (und somit das Gewicht) des Körpers aber von der Natur und der Anzahl seiner Molekeln. Daher ist die Menge der in einem bestimmten Volum enthaltenen Masse bei verschiedenen Körpern verschieden. Vergleichen wir die in der Volumeinheit irgend eines Stoffes enthaltene Masse mit derjenigen, welche in einem Kubikcentimeter reinen Wassers von 4^0 enthalten ist, so erhalten wir eine Verhältniszahl, welche man das spezifische Gewicht des betreffenden Stoffes nennt. Wenn wir sagen, das spezifische Gewicht des reinen Goldes sei = 19,25, so heißt das, dass 1 cm^3 Gold ebensoviel wiege wie 19,25 g Wasser von 4^0C. 14. Spezifisches Gewicht.

Gemenge haben nicht, wie die reinen Körper, ein bestimmtes spezifisches Gewicht, sondern dieses schwankt, je nach den Mengenverhältnissen der einzelnen Bestandteile, zwischen gewissen Grenzwerten. So ist es zu verstehen, wenn wir sagen, Blut vom Menschen habe ein spezifisches Gewicht von 1,045—1,060[1]). Um Bruchzahlen zu vermeiden, multipliziert man die Zahlen der spezifischen Gewichte häufig mit Tausend, d. h. man giebt das Gewicht eines Liters der Substanz in Grammen oder, was dasselbe ist, das eines Kubikcentimeters in Milligrammen an. So erhält man für Wasser die Zahl 1000, für Gold 19250, für Blut 1045—1060, für reinen, ganz wasserfreien Alkohol 794,6.

Wenn in einem Kubikcentimeter Wasser eine Masseneinheit, dagegen in einem Kubikcentimeter Gold 19,25 Masseneinheiten enthalten sind, so kann man auch sagen, die Masse sei im Golde dichter zusammengedrängt als im Wasser. Daher bezeichnet man das, was durch die spezifischen Gewichtszahlen ausgedrückt wird, zuweilen auch als Dichte der Körper. Dass Gold dichter ist als Wasser, kann zweierlei Gründe haben. Erstens kann das Molekulargewicht des Goldes größer sein als das des Wassers, zweitens kann aber auch die Zahl der Molekeln in einem bestimmten Volum größer sein. Über den letzteren Punkt können

[1]) Wären die von Temperatur und Druck bedingten Volumänderungen für alle Körper gleich, so würden die bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck festgestellten Zahlen der spezifischen Gewichte auch für alle anderen Temperaturen und Drucke giltig sein. Das trifft aber, wie wir sehen werden, nur für die Gase zu. Man giebt deshalb die spezifischen Gewichtszahlen in der Regel für eine bestimmte Temperatur und für Atmosphärendruck an.

wir nur bei den Gasen etwas Genaueres aussagen, wovon an einer späteren Stelle ausführlicher die Rede sein wird. Dagegen leuchtet es ein, dass, wenn die Dichte durch mechanische Mittel wie Druck oder durch Temperatureinflüsse geändert wird, dies auf eine Vermehrung oder Verminderung der Zahl der Molekeln in der Volumseinheit zurückgeführt werden kann. So ist z. B. die Zahl 19,25, welche wir für das spezifische Gewicht des Goldes angegeben haben, richtig für gegossenes Gold und für die Temperatur 0^0. Durch Hämmern und sonstige Bearbeitung kann die Dichte des Goldes so vermehrt werden, dass sein spez. Gew. auf 19,6 steigt, und das aus Lösungen von Goldverbindungen niedergeschlagene Gold kann sogar ein noch höheres spez. Gewicht haben.

15. Unzulänglichkeit der Vorstellungen von der Materie.

15. Die Vorstellung über die Konstitution der Materie, welche im Vorhergehenden entwickelt wurde, bewährt sich als brauchbar für das Verständnis einer sehr großen Zahl von Naturvorgängen. Um von den Vorgängen der chemischen Vereinigung und Zerlegung sowie von einer großen Zahl von physikalischen Prozessen Rechenschaft zu geben, haben wir nur nötig, den Atomen, Molekeln oder Massen die Fähigkeit zuzuschreiben, ihre Lage im Raume zu ändern oder, wie wir auch sagen können, Bewegungen auszuführen. Hiervon soll im folgenden Kapitel weiter gehandelt werden. Es bleiben aber eine Anzahl von Vorgängen übrig, bei denen wir mit diesen Vorstellungen von der Materie nicht auskommen.

Ein Beispiel hierfür liefert folgender Versuch: Wir bringen ein in Gang gesetztes Uhrschlagwerk unter die Glocke einer Luftpumpe. Wir sehen, wie der Klöppel in regelmäßigen Zeitabständen gehoben wird und gegen die Glocke schlägt, und wir hören dann jedesmal einen Ton. Wir haben es also mit zwei verschiedenen Erscheinungen und dadurch bedingten Wahrnehmungen zu thun. Wenn jetzt die Luft aus der Glocke ausgepumpt wird, so werden die Töne immer schwächer und hören zuletzt ganz auf; die Bewegungen des Klöppels aber bleiben sichtbar.

Die Analyse der Schallerscheinungen lehrt, dass die Molekeln der Uhrglocke durch die Stöße des Klöppels in schwingende Bewegung versetzt werden, dass diese Schwingungen auf die Luft in der Glocke, von dieser auf die Molekeln der Glaswand, von dieser auf die Molekeln der äußeren Luft, endlich durch diese auf unser Ohr übertragen werden. Durch die Erregung der dort vorhandenen Nerven kommt die Schallempfindung zu stande. Wird die Luft aus der Glocke entfernt, so fehlt es an einem Medium zur Übertragung jener Bewegungen der Glocke, die Fortleitung des Schallvorganges ist daher unmöglich.

Durch denselben Raum aber, welcher nach unserem Sprachgebrauch luftleer genannt wird, welcher keine Materie in dem von uns bisher gebrauchten Sinne des Wortes enthält, kann sich noch

der Vorgang fortpflanzen, welcher die Lichtempfindung vermittelt. Auch dieser Vorgang beruht nachgewiesenermaßen auf schwingenden Bewegungen. Aber das, was dabei schwingt, kann nicht Materie von der Art sein, die wir bisher kennen gelernt haben. Ganz ähnlich verhält es sich mit den Erscheinungen der Elektrizität und des Magnetismus. Auch die Vorgänge, durch welche diese hervorgerufen werden, pflanzen sich durch den sogenannten leeren Raum, in welchem „keine Materie" vorhanden ist, fort.

16. Äther.

16. Körper, welche „elektrisiert" werden, erhalten dadurch Eigenschaften, die sie vorher nicht hatten, ohne dass ihre Masse verändert würde. Dasselbe gilt vom Eisen, wenn es magnetisch gemacht wird. Zur Erklärung solcher Erscheinungen nahm man früher an, dass es außer der eigentlichen Materie noch eine Anzahl anderer Stoffe gebe von solcher Feinheit, dass sie gewichtlos wären. Deshalb nannte man sie Imponderabilien. Durch Vereinigung dieser hypothetischen Stoffe mit der Materie sollte letztere neue Eigenschaften annehmen. Für jede dieser Eigenschaften nahm man ein bestimmtes „Imponderabile" an. Man sprach von einem Lichtstoff, welcher von den leuchtenden Körpern ausgehe und, wenn er in unser Auge gelange, dort die Sehempfindung hervorrufe. Man nahm einen Wärmestoff an, eine oder zwei gewichtlose elektrische Flüssigkeiten, ebenso ein oder zwei magnetische Fluida. Nach unseren im zweiten Kapitel dargelegten Grundsätzen müssen wir die Zahl der hypothetischen Annahmen auf das unumgänglich notwendige Mindestmaß einschränken. Da wir aber die Licht-, die elektrischen und die magnetischen Erscheinungen mit unserer bisherigen Annahme von der Materie durchaus nicht darzustellen vermögen, so sind wir genötigt, wenigstens noch eine neue Annahme zu machen. Nehmen wir aber an, dass es außer dem, was wir bisher Materie genannt haben, noch eine zweite Art von Materie gebe, so genügen diese zwei Annahmen, um alle Naturerscheinungen zu erklären.[1])

Man nennt diese zweite Art von Materie Äther und stellt sich ihn, analog der eigentlichen Materie, als aus einzelnen Teilchen, Äthermolekeln, bestehend vor. Diese hypothetischen Äthermolekeln sind im ganzen Weltraum vorhanden. Ihre Größe muss so gering sein, dass die Zwischenräume zwischen den materiellen Molekeln im Vergleich zu ihnen als sehr groß gelten können. Sie dringen deshalb in alle diese Zwischenräume ein und können durch materielle

[1]) Es handelt sich dabei nur um die Erscheinungen des Lichts, der Elektrizität und des Magnetismus. Die Wärmeerscheinungen können, wie im folgenden Kapitel gezeigt werden wird, auf Bewegungszustände der (eigentlichen) Materie zurückgeführt werden oder sind (bei der sogenannten strahlenden Wärme) Abarten der Lichterscheinungen.

Körper hindurchgehen, wie Luft, Wasser oder kleine Sandkörner durch ein Sieb. Deshalb kann man wohl einen von festen Wänden umschlossenen Raum luftleer und damit frei von aller Materie machen, aber niemals ätherleer. In dem Äther entstandene oder ihm mitgeteilte Bewegungen können von Ätherteilchen auf Ätherteilchen und damit auf jede Entfernung hin übertragen werden. Sie können sich daher sowohl durch den sogenannten leeren Raum wie auch durch andere Körper hindurch fortpflanzen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass der hypothetische Äther nach den Vorstellungen, die man sich von ihm gebildet hat, ein wirklicher Stoff ist, der sich von dem anderen, Materie genannten, durch seine sehr viel geringere Dichte unterscheidet. Er ist für unsere Wahrnehmung völlig gewichtlos. Was wir Gewicht oder Schwere genannt haben, ist der Ausdruck einer Beziehung der materiellen Teilchen gegeneinander, nach Maßgabe des Newton'schen Gravitationsgesetzes. Für irdische Körper können wir die Gewichte bestimmen durch die Wechselwirkung zwischen ihnen und der Erde mit Hilfe der Wage; bei den Himmelskörpern können wir Schlüsse auf sie ziehen durch die gegenseitigen Einwirkungen auf ihre Bewegungen. Alle Methoden, welche wir bei der Untersuchung der gegenseitigen Beziehungen materieller Körper benutzen, lassen uns im Stich bei dem den ganzen Weltenraum erfüllenden Äther, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht. Um zu erkennen, dass die Luft Gewicht hat, müssen wir einen lufterfüllten mit einem luftleeren Raum vergleichen. Die Wägung im lufterfüllten Raume macht bekanntlich, dass jeder Körper um das Gewicht des von ihm verdrängten Luftvolums zu leicht erscheint; Luft in Luft gewogen hat also sozusagen das Gewicht Null. Angenommen also, es bestände eine der Masse des Äthers entsprechende Wechselwirkung zwischen ihm und der Erde, welche groß genug wäre, um mit einer feinen Wage bestimmt zu werden, so könnte dies doch nur geschehen, wenn die Wägung einer bestimmten Äthermasse in einem ätherfreien Raum vorgenommen werden könnte, was nach dem oben Gesagten unausführbar ist. Ebenso wenig können wir feststellen, ob etwa Äthermassen ähnlich wie materielle Teilchen aufeinander einwirken. Denn auch dazu müssten wir über begrenzte Äthermassen verfügen, welche durch ätherfreie Räume getrennt wären.

Vielleicht wird gegen diese Gleichsetzung von Materie und Äther als zweier nur durch ihre Dichte verschiedener Arten von Stoff der Einwand erhoben werden, die Materie sei doch unseren Sinnen unmittelbar wahrnehmbar, der Äther dagegen sei eine reine Fiktion. Aus den früheren Auseinandersetzungen geht aber hervor, dass letzteres von der Materie in gleicher Weise gilt. So scheinbar

bestimmt die Sinnesempfindungen sind, welche uns von der Existenz der Materie Kunde geben, so bleibt doch die Annahme, diese Empfindungen seien durch eine außerhalb unseres empfindenden Ichs objektiv vorhandene Materie bedingt, eine unbewiesene Annahme. Wir machen diese Hypothese, weil sie alle Vorgänge der Natur auf einfache und durchaus befriedigende Art darzustellen gestattet, bis auf einen Rest von Erscheinungen. Hier tritt ergänzend die Hypothese vom Äther ein.

Man hat Anstoß daran genommen, dass durch die Annahme des Äthers neben der Materie eine Art von Dualismus in die Naturbetrachtung komme. Das ist aber gar nicht der Fall. Die Vorstellung von der Existenz der Materie als eines außerhalb unseres Ichs gegebenen Etwas, von welchem alle uns geläufigen, von frühester Kindheit an empfangenen Sinneseindrücke veranlasst werden, sind so eingewurzelt, dass wir uns auch den Äther nicht anders als einen Stoff vorstellen, nur dass wir ihm eine sehr geringe Dichte zuschreiben. Zwischen der Materie und dem Äther besteht kein größerer Unterschied als zwischen den verschiedenen Gattungen von materiellen Stoffen selbst, z. B. zwischen Gasen und festen Körpern. Übrigens könnte man auch den Dualismus dadurch beseitigen, dass man die Materie als eine an bestimmten Stellen des Raumes befindliche dichtere Anhäufung des Äthers auffasste. Man könnte sich denken, dass das, was wir ein Atom Wasserstoff nennen, eine dichtgedrängte Gruppe von Äthermolekeln mit bestimmter Anordnung und deshalb bestimmten Eigenschaften sei, während ein Atom Sauerstoff aus einer anderen Anzahl von Äthermolekeln in anderer Anordnung bestehe. Aber solche Spekulationen sind noch zu wenig begründet; ihr Wert kann noch nicht durch Vergleichung der aus ihnen abgeleiteten Folgerungen mit der Erfahrung geprüft werden. Deshalb können wir nicht weiter auf sie eingehen. Mit den Annahmen, die wir im Vorhergehenden gemacht haben, können die Naturerscheinungen, soweit wir sie kennen, einfach und folgerichtig dargestellt werden. Deshalb sind diese Hypothesen ein brauchbares Mittel der wissenschaftlichen Naturbetrachtung, und deshalb sprechen wir von den Molekeln und Atomen der Materie und des Äthers, als ob ihre Existenz unzweifelhaft wäre. Wir würden aber diese Vorstellungen sofort fallen lassen, wenn irgend eine Thatsache bekannt werden sollte, welche mit ihnen nicht vereinbar wäre, oder wenn andere Vorstellungen gefunden würden, welche sich besser und einfacher zur Darstellung der Thatsachen eigneten.

Fünftes Kapitel.

Bewegung und Energie.

1. Bewegung.

1. Das Substrat unserer Wahrnehmungen, die Materie, erscheint uns in Gestalt begrenzter, im Raume verteilter Körper. Die auffälligsten, sich immer wiederholenden Wahrnehmungen belehren uns darüber, dass diese Körper ihre Lage zueinander ändern, sich bewegen. Mit den Bewegungen sind wir deshalb von frühester Jugend an vertraut; sie sind durch die Sinne unmittelbar wahrnehmbar, während andere Vorgänge der Anschauung nur schwer oder gar nicht zugänglich sind.

Indem man die an den sichtbaren Massen, den Körpern, gewonnenen Vorstellungen von der Bewegung auch auf die hypothetischen Molekeln, die Atome und den Äther überträgt, gelangt man zu einer anschaulichen Darstellung aller Naturvorgänge. Es ist deshalb notwendig, sich mit den verschiedenen Arten der Bewegung und den an ihnen festzustellenden Gesetzmäßigkeiten vertraut zu machen.

Wir haben zu unterscheiden: 1) die Bewegung von Körpern oder Massen, Molarbewegung; hierher gehören die Erscheinungen des Falls, die Bewegung der Gestirne u. d. g. — 2) Molekularbewegung; auf sie lassen sich die Erscheinungen der Volumsveränderungen u. ä. zurückführen. — 3) Atombewegung; sie dienen zur Darstellung der chemischen Vorgänge der Zerlegung und Bildung zusammengesetzter Stoffe. — 4) Bewegungen des Äthers, welche für die Licht-, die elektrischen und magnetischen Erscheinungen herangezogen werden.

Wenn bei den Molarbewegungen die Lage der Teile, aus denen ein Körper besteht, unverändert bleibt, wenn also der Körper als Ganzes sich bewegt, dann können wir von der Form (Ausdehnung u. s. w.) des Körpers absehen und die ganze Masse des bewegten Körpers in einem Punkte (dem Schwerpunkt) vereinigt denken. Molekeln, Atome oder Äthermolekeln, von deren hypothetischen Bewegungen gesprochen wird, haben in unserer Vorstellung überhaupt keine merkliche Ausdehnung; sie sind, wie man

zu sagen pflegt, unendlich klein, können also erst recht als Punkte dargestellt werden. Durch diese Zurückführung aller Bewegungserscheinungen auf Beziehungen zwischen Punkten wird die Mechanik, wie man die Lehre von den Bewegungen nennt, einer streng mathematischen Behandlung fähig. Sie hat infolgedessen einen hohen Grad der Ausbildung erreicht. Durch Übertragung der in der Mechanik ausgebildeten Methoden und Ergebnisse auf die supponierten Bewegungen der Molekeln und des Äthers wurden auch andere Naturvorgänge der mathematischen Behandlung zugänglich. So ist es zu verstehen, wenn man sagt, dass alle Wissenschaft von den Naturvorgängen dahin strebe, Mechanik zu werden.

2. Alle Bewegungen sind entweder fortschreitende oder schwingende; bei den ersteren nimmt der sich bewegende Körper fortwährend neue Lagen im Raume ein, bei den Schwingungen kehrt er wieder in seine Anfangslage zurück. Befindet sich ein Körper einmal in der Lage A und dann in der Lage B, so ist $\overline{AB}$ die Linie, welche die beiden Punkte verbindet, der zurückgelegte Weg. Der Ausdruck $\overline{AB}$ hat zweierlei Bedeutung; er giebt nicht nur die Länge des Weges, sondern auch die Richtung der Bewegung an; er besagt, dass die Bewegung von A nach B gerichtet war. Wenn die Bewegungsrichtung die entgegengesetzte ist, bezeichnen wir sie mit $\overline{BA}$. $\overline{AB}$ und $\overline{BA}$ sind gleiche Längen, aber von entgegengesetzter Richtung. Deshalb geben wir beiden entgegengesetzte Vorzeichen. Es ist dann $\overline{BA} = -\overline{AB}$, mithin ist $\overline{AB} + \overline{BA} = 0$. D. h. wenn die Bewegung erst von A nach B und dann von B nach A geht, so ist das Endergebnis $0 =$; der Körper ist wieder nach seinem Ausgangspunkt zurückgekehrt. Es ist dies also ein Fall von Schwingung. 2. Arten der Bewegung.

Außer der Länge und der Richtung des Weges kommt noch in Betracht die Zeitdauer, welche zur Zurücklegung erforderlich ist. Nennen wir den Weg s und die Zeit (in Sekunden gemessen) t, so ist $\frac{s}{t}$ der in der Zeiteinheit (1 sec) zurückgelegte Weg oder die Geschwindigkeit der Bewegung [1]).

[1]) Bei dieser Bezeichnung der Geschwindigkeit wurde vorausgesetzt, dass in jedem Bruchteil der Zeit t ein gleicher Bruchteil des Weges s zurückgelegt worden sei. Ist dies der Fall, dann nennt man die Geschwindigkeit eine gleichförmige, andernfalls eine ungleichförmige. Die ungleichförmige Geschwindigkeit kann eine beschleunigte oder eine verzögerte sein, je nachdem die Geschwindigkeit zu- oder abnimmt. Legt ein Körper den Weg s in der Zeit t mit ungleichförmiger Geschwindigkeit zurück, dann bezeichnet der Wert $\frac{s}{t}$ seine durchschnittliche oder mittlere Geschwindigkeit während des Zeitraumes t. In Wirklichkeit hatte der Körper in jedem Zeitmoment eine andere Geschwindigkeit; man kann diese für jeden Zeitmoment ausdrücken, indem man angiebt,

Die im Vorhergehenden benutzten Begriffe des Raumes und der Zeit sind nicht von gleicher Art wie die Objekte unserer Anschauung, die Dinge oder Körper. Sie sind nicht Objekte, sondern Formen unserer Anschauung, bedingt durch die Eigenschaften unserer Sinnesorgane und unseres Bewusstseins. Dass wir den Körpern Dimensionen zuschreiben, dass wir Körper nebeneinander wahrnehmen, ist durch die Einrichtung unserer Augen und unserer Tastorgane sowie durch die Fähigkeit, unsern Standpunkt zu verändern, bedingt. Wir schreiben dem Raum drei Dimensionen zu, weil wir Verschiedenheiten nach drei Richtungen wahrzunehmen imstande sind. Wären die Sinnesorgane, denen wir die Anschauung verdanken, anders beschaffen, so würden wir dem Raum vielleicht nur zwei oder mehr als drei Dimensionen zuschreiben. Daher kann man theoretisch von Räumen von mehr als drei Dimensionen sprechen; derjenige Raum aber, von welchem wir thatsächlich eine Vorstellung besitzen, ist dreidimensional.

Die Anschauungsform der Zeit hängt von den Eigenschaften unseres Bewusstseins ab. Die Bewusstseinszustände wechseln, aber die Erinnerung an die früheren bleibt bestehen. Hierdurch kommen wir zu den Begriffen der Gleichzeitigkeit und der zeitlichen Aufeinanderfolge. Daher hat die Zeit nur eine Dimension. Sie kann mathematisch durch eine Linie dargestellt werden, welche sich nach beiden Richtungen unbegrenzt bis ins Unendliche erstreckt. Irgend ein Punkt in dieser Linie kann zur Bezeichnung der Gegenwart dienen; dann stellt die eine Seite der Linie die Vergangenheit, die andere die Zukunft dar.

3. Schwingungen.

3. Ändert sich die Richtung der Bewegung plötzlich, dann ist die Bahn eine gebrochene, bei allmählicher Änderung eine krummlinige. Ein einfacher Fall dieser Art ist die Bewegung auf einer Kreisbahn. Um die Geschwindigkeit in diesem Falle auszudrücken, kann man entweder die Länge des in einer bestimmten Zeit zurückgelegten Bogens oder Teiles des Kreisumfangs angeben (Lineargeschwindigkeit), oder die Größe des zu ihm gehörigen Centriwinkels (Winkelgeschwindigkeit).

Ein Fall dieser Art ist die rotierende oder Kreiselbewegung, bei welcher ein Körper sich um eine durch seinen Schwerpunkt gehende Axe dreht. (Beispiel: Das Schwungrad einer Maschine). Alle Punkte des Körpers beschreiben dabei Kreisbewegungen. Die Radien dieser Kreise sind um so größer, je weiter die Punkte von der Axe entfernt sind; die Geschwindigkeiten sind also, wenn man sie in Längeneinheiten ausdrückt, verschieden. Die Winkel aber, welche die Radien in einer bestimmten Zeit beschreiben, sind für alle Punkte gleich. Die Lineargeschwindigkeiten sind also verschieden, die Winkelgeschwindigkeiten gleich.

---

wie groß der Weg ist, welchen er in einer Sekunde zurücklegen würde, wenn die Geschwindigkeit sich nicht geändert hätte.

Die Bewegungen des Pendels sind Kreisbewegungen, sie umfassen jedoch nur einen geringen Teil des Kreisumfangs und ändern in regelmäßigen Zeitabständen ihre Richtung. Derartige hin- und hergehende Bewegungen werden gewöhnlich gemeint, wenn man von Schwingungen spricht. Auch verbindet man damit in der Regel den Begriff der öfteren Wiederholung. Im übrigen können die Bewegungen von der größten Mannigfaltigkeit, die Bahnen können gerad- oder krummlinig, die Geschwindigkeiten gleich- oder ungleichförmig sein. Die Lehre von den Schwingungen ist für viele Teile der Physik (Akustik, Optik u. a.) von großer Bedeutung. Wir unterscheiden bei den Schwingungen:

1) Die Schwingungsdauer, d. h. die Zeit, welche der schwingende Körper braucht, um nach Vollendung seiner ganzen Bewegung wieder an seinen Ausgangspunkt zurückzukehren. Ist bei sich wiederholenden Schwingungen die Dauer der einzelnen Schwingungen immer die nämliche, so kann man statt der Dauer einer Schwingung auch die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit angeben. Ob wir von einer Stimmgabel sagen, eine ihrer Schwingungen dauere $^1/_{256}$ Sekunde, oder sie mache 256 Schwingungen in der Sekunde, ist offenbar dasselbe.

2) Die Schwingungsamplitude, auch Elongation oder Intensität der Schwingung genannt, d. h. den größten Ausschlag, welchen der schwingende Punkt macht, die geradlinige Entfernung zwischen den äußersten, von ihm erreichten Lagen.

3) Die Art und Weise der Bewegung innerhalb dieser äußersten Lagen. Ist nicht nur die Schwingungsdauer in den aufeinander folgenden Schwingungen immer die gleiche, sondern vollzieht sich auch die Bewegung immer wieder auf die gleiche Art, so heißen die Schwingungen regelmäßige, sonst unregelmäßige.[1])

4. Energie.

4. Wir wollen jetzt untersuchen, wodurch sich ruhende Körper von bewegten unterscheiden. Vergleichen wir zwei sonst ganz gleiche Massen, sagen wir zwei Bleikugeln von gleichem Gewicht, von denen die eine ruht, die andere in Bewegung begriffen ist. Die ruhende Kugel ist ein ziemlich unschuldiges Ding. Wenn sie auf unserer Hand liegt, so übt sie einen von ihrem Gewicht abhängigen Druck aus. Trifft aber die bewegte Kugel unsere Hand, so kann sie eine erhebliche Quetschung bewirken, ja sogar, wenn die Geschwindigkeit groß ist, die Hand durchbohren oder zerschmettern. Die in Bewegung begriffene Kugel kann also eine Wirkung ausüben; ihr kommt eine Fähigkeit zu, welche die ruhende Kugel

[1]) Diese Unterscheidung ist wichtig für die Akustik. Regelmäßige Schwingungen erregen in uns die Empfindung von Tönen und Klängen, unregelmäßige die von Geräuschen.

nicht besitzt; diese Fähigkeit nennen wir Energie. Wir wollen versuchen, diese Energie zu messen. Zu diesem Zweck laden wir ein Gewehr mit einer solchen Bleikugel und schießen es ab. Die Explosion des Pulvers bewirkt, dass die Kugel den Gewehrlauf mit großer Geschwindigkeit verlässt. Wir wollen annehmen, dass wir diese Geschwindigkeit messen können. Sie sei = v, die Masse der Kugel = m. Wir richten das Gewehr gegen eine Anzahl dicht hintereinander aufgestellter, gleich dicker Bretter von Tannenholz. Wir finden, dass die Kugel vermöge ihrer Energie das erste dieser Bretter durchdringt, wobei sie die Festigkeit des Zusammenhalts der Holzteilchen überwinden muss. Dann aber ist ihre Wirkung erschöpft, sie bleibt im zweiten Brett stecken. Nun laden wir eine gleiche Kugel in das Gewehr, geben ihr aber die doppelte Geschwindigkeit $2v$; sie durchdringt jetzt 4 Bretter; bei der Geschwindigkeit $3v$ vermag sie 9 Bretter zu durchschlagen, bei der Geschwindigkeit $4v$ 16 Bretter u. s. f.

Die Kugel von der Masse m hat also durchschlagen:

Geschwindigkeit	v	$2v$	$3v$	$4v$
Zahl der Bretter	1	4	9	16

Wir wiederholen diese Versuche, aber mit einer Kugel von der Masse $2m$. Wir finden, dass sie durchschlägt:

Geschwindigkeit	v	$2v$	$3v$	$4v$
Zahl der Bretter	2	8	18	32

Fassen wir die Ergebnisse dieser beiden Versuchsreihen zusammen, so ergiebt sich, dass die Energie (gemessen durch die von ihr hervorgebrachte Wirkung) wächst direkt proportional mit der Masse und proportional mit dem Quadrat der Geschwindigkeit des bewegten Körpers, d. h. die Energie ist dem Produkt mv^2 proportional. Aus Gründen, die wir hier nicht auseinandersetzen können, wird die Größe der Energie richtig ausgedrückt durch die Hälfte des Produkts aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit, also $e = {}^1/_2\, mv^2$.

5. Arbeit.

5. Wenn ein Mensch das Durchschlagen der Bretter, welches uns als Maß für die Energie der in Bewegung begriffenen Kugel gedient hat, etwa mit Hilfe eines Bohrers oder Locheisens besorgt hätte, so würde man das eine Arbeitsleistung nennen. Wir können deshalb auch sagen, die Kugel habe Arbeit geleistet. Die Größe dieser Arbeit (in unserem Fall die Zahl der durchlochten, unter sich gleich dicken Bretter) hat uns als Maß für die Energie gedient. Noch leichter zu übersehen ist die Arbeitsgröße beim Heben von Lasten. Es leuchtet ein, dass die geleistete Arbeit um so größer sein muss, je größer die Last und je größer die Höhe ist, auf welche sie gehoben wird. Daraus folgt, dass die Arbeit gemessen

werden kann durch das Produkt Last mal Hubhöhe. Bezeichnet A die Arbeit, so ist also

$$A = g \cdot h.$$

Setzt man in dieser Formel für g die Gewichtseinheit (1 kg) und für h die Längeneinheit (1 m), so erhält man die Maßeinheit für die Arbeit oder die Arbeitseinheit, das Kilogrammmeter (1 kgm).[1]) Nach diesem Maß wird alle Arbeit in der Technik gemessen, mag sie von Menschen oder von sogenannten Kraftmaschinen geleistet werden.

6. Umwandlung von Energie.

6. Um die Energie der abgeschossenen Kugel in gleicher Weise zu messen, richten wir das Gewehr senkrecht, mit der Mündung nach oben, so dass die Kugel vertikal aufwärts getrieben wird. Könnten wir ihre Bewegung genau verfolgen, so würden wir sehen, dass sie mit verzögerter Geschwindigkeit aufsteigt bis zu einer gewissen Höhe, dort einen Moment still steht und dann wieder mit beschleunigter Geschwindigkeit fällt. Wenn sie wieder an ihrem Ausgangspunkt, dem Gewehrlauf, ankommt, hat sie genau wieder dieselbe Geschwindigkeit und damit auch dieselbe Energie, mit der sie den Lauf verlassen hat.

In dieser Form ist der Versuch schwer in seinen einzelnen Stadien zu verfolgen. Wir können ihn aber durch einen anderen ersetzen, der im Prinzip der gleiche ist. Wir nehmen ein einfaches Pendel, eine bei A drehbar aufgehängte Kugel. Wir lenken das Pendel aus der vertikalen Lage ab und lassen die Kugel los; das Pendel macht eine Anzahl von Schwingungen, bei denen es genau um gleiche Winkel nach jeder Seite von der Vertikalen ausschlägt. Wird das Pendel in seiner äußersten Lage nach links, $A\,C$, festgehalten, so macht es mit der Vertikalen den Winkel α; der Schwerpunkt seiner Kugel befindet sich in C, ist also gegen B um die Höhe CE gehoben. Wenn wir es jetzt

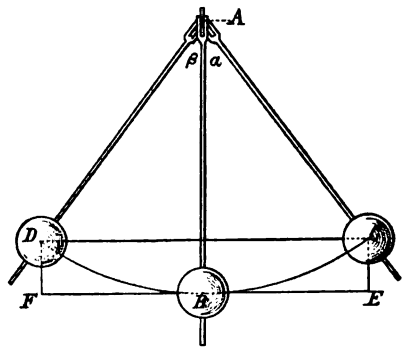


Fig. 2.

Das Pendel $A\,B$ ist bei A aufgehängt. Wird es in die Lage $A\,C$ gebracht, so ist sein Schwerpunkt auf die Höhe $C\,E$ gehoben. Losgelassen schwingt es bis zur Lage $A\,D$, so dass Winkel $\beta = \alpha$ ist. Der Schwerpunkt ist dann auf die Höhe $D\,F = C\,E$ gehoben worden.

[1]) Im absolutem Maßsystem (vgl. Kap. 3, § 6) müsste man die Einheiten 1 g und 1 cm zu Grunde legen. Diese wissenschaftliche Arbeitseinheit (Gramm-Centimeter) ist für praktische Zwecke zu klein, sie wird daher durch die im Text angegebene ersetzt. 1 kgm = 1000 000 oder 10^6 gcm.

loslassen, fällt es in die Lage B zurück und erlangt dabei eine Geschwindigkeit, vermöge deren es weiter nach links bis zur Lage AD zu schwingen vermag. Wenn nun, wie der Versuch lehrt, $\sphericalangle BAD = \sphericalangle BAC$ ist, dann ist die Masse des Pendels auf die Höhe DF gehoben worden. Nun ist aber, wie leicht zu zeigen $DF = CE$. Die Masse der Pendelkugel ist also gerade so hoch gehoben worden, als sie vorher gefallen war.

Das Aufwärtssteigen der in vertikaler Richtung abgeschossenen Flintenkugel und das der Kugel des Pendels sind offenbar im wesentlichen gleiche Vorgänge. In beiden Fällen war es die Wirkung einer gewissen Energie, welche die Kugeln besaßen, als sie an der tiefsten Stelle waren. Die Flintenkugel erhielt an dieser Stelle ihre Geschwindigkeit durch den Stoß des explodierenden Pulvers, das Pendel die seine infolge des Falls von der Höhe CE. Aus dem Versuch mit letzterem sehen wir, dass diese Geschwindigkeit gerade genügt, es auf die gleiche Höhe zu heben. Hieraus können wir folgenden Schluss ziehen: Um die Masse m auf die Höhe h zu heben, leisten wir eine Arbeit $m.h$. Dazu bedarf es einer bestimmten Energie. Wenn die Masse fällt, so erlangt sie eine Energie, durch welche sie wiederum auf die Höhe h gehoben werden kann. Diese Energie ist also genau so groß, wie die bei der Hebung aufgewendete Energie war. Bei der Hebung und dem Fallen ist also Energie weder verloren gegangen, noch gewonnen worden.

7. Verschiedene Formen von Energie.

7. Betrachten wir zwei gleiche Massen m_1 und m_2, von denen die erste auf der Erde, die andere auf irgend einer festen Unterlage in der Höhe h über der Erdoberfläche liegt. Jedermann weiß, dass diese Massen nicht gleichwertig sind. Um die erste Masse zu heben, müssten wir Arbeit leisten oder, was dasselbe ist, Energie aufwenden. Die andere Masse aber kann Arbeit leisten; dazu brauchen wir sie nur fallen zu lassen. Wäre z. B. die eine Masse das Wasser eines Teiches in der Ebene, die andere das Wasser eines ganz gleichen Teichs auf einem Berge, so könnte letzteres, wenn man es fallen lässt, ein Mühlrad oder eine Turbine treiben und damit Arbeit leisten. Dieses Wasser besitzt also Energie; aber diese Energie ist offenbar von anderer Art als die Energie der abgeschossenen Flintenkugel oder des Pendels in seiner tiefsten Lage. Die Flintenkugel und das Pendel verdankten ihre Energie dem Umstand, dass sie in Bewegung waren, dass sie eine gewisse Geschwindigkeit besaßen; die Flintenkugel und das Pendel in ihrer höchsten Lage dagegen und das hochliegende Wasser verdanken ihre Energie eben dieser Lage, durch welche sie befähigt waren zu fallen und dadurch Geschwindigkeit zu erlangen.

Wir müssen also zwei verschiedene Arten von Energie unterscheiden:

Energie der Lage oder potentielle Energie und Energie der Bewegung oder kinetische Energie[1]).

8. Perpetuum mobile.

8. Betrachten wir nochmals den Versuch am Pendel. Während das Pendel von seiner tiefsten Lage bis zu seiner höchsten an einer Seite der Mittellage aufsteigt, wird die gesamte Energie der Bewegung, welche ihm bei seiner tiefsten Lage innewohnte, zur Hebung der Masse aufgewendet. Sie ist aber damit nicht verloren gegangen. Denn in dieser höchsten Lage ist das Pendel imstande, durch seine Abwärtsbewegung wieder Geschwindigkeit und somit wieder Energie zu erlangen. Bei den Schwingungen wird also immer abwechselnd Energie der Bewegung in Energie der Lage übergeführt und umgekehrt. Der Versuch lehrt ferner, dass bei dieser Umwandlung die zur ersten Hebung des Pendels aufgewendete Energie wiedergewonnen wird, dass aber niemals eine Vermehrung derselben eintritt.

Nehmen wir für einen Augenblick an, ein Pendel, welches von der Höhe h fällt, könnte bei Fortsetzung seiner Schwingung auf der anderen Seite etwas höher steigen, etwa bis zur Höhe $h_1 > h$. Dann könnten wir irgend eine maschinelle Einrichtung ersinnen, durch welche der kleine Überschuss an Arbeit, der dabei geleistet wird, zur Hebung eines kleinen Gewichts γ um die Größe β verwendet wird. Wenn sich dieser Vorgang bei allen Schwingungen des Pendels wiederholen würde, so könnten wir durch Summation aller dieser kleinen Arbeitsmengen $\gamma \cdot \beta$ zuletzt irgend einen größeren Betrag von Arbeit gewinnen. Eine Grenze für diesen Betrag würde es nicht geben; er könnte, wenn der Vorgang sich recht oft wiederholt, zuletzt ungeheuer groß werden. Wir hätten also durch die ursprüngliche Aufwendung der kleinen Arbeit $a = m \cdot h$ eine unerschöpfliche Arbeitsquelle gewonnen.

Früher hielt man dies nicht für unmöglich. Man glaubte, dass es nur darauf ankomme, eine geschickte Anordnung der Apparate zu ersinnen, um mit einem kleinen Anstoß beliebige Energiemengen zu gewinnen, welche man zu allerlei Arbeitsleistungen verwenden könnte. Man nannte einen derartigen Mechanismus Perpetuum mobile. Tausende von zum Teil sehr findigen Köpfen bemühten sich, ein solches zu ersinnen. Aber alle diese Bemühungen waren vergebens. Die Erfahrung hat immer und immer wieder gelehrt, dass ein Perpetuum mobile unmöglich ist. Ist dem aber

[1]) Die Energie der Lage wird auch Spannkraft, die Energie der Bewegung virtuelle oder lebendige Kraft genannt. Doch sind diese Bezeichnungen weniger geeignet, das, worauf es ankommt, deutlich zu machen.

so, dann kann das nur daran liegen, dass bei der Umwandlung von Energie der Lage in Energie der Bewegung oder umgekehrt niemals mehr Arbeit gewonnen werden kann, als aufgewendet worden ist. So dient also die Erfahrung von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zur Bestätigung des Satzes, dass bei der Umwandlung von Energie der Bewegung in Energie der Lage oder umgekehrt niemals Energie gewonnen werden kann.

Dass auch niemals Energie verloren gehen kann, ist viel schwerer zu zeigen. Die Erfahrung scheint zunächst das Gegenteil zu beweisen. Beim Pendel z. B. werden in Wirklichkeit die aufeinander folgenden Ausschläge allmählich kleiner und zuletzt hören die Schwingungen ganz auf. Es ist dies eine Folge des Widerstandes der Luft, der Reibung in dem Axenlager, u. s. w. Um ein Pendel in dauernder Bewegung zu erhalten, muss man ihm deshalb bei jeder Schwingung einen kleinen Stoß erteilen, was bei unseren Uhren durch einen Mechanismus geschieht, der von einem fallenden Gewicht oder einer gespannten Feder seinen Antrieb erhält; die Uhr muss deshalb in bestimmten Zeitintervallen aufgezogen werden. Wir können diese Energieverluste auf ein sehr geringes Maß herabsetzen, wenn wir die Schwingungen im luftleeren Raum vor sich gehen lassen; sie dauern dann viel länger, die Elongationen werden nicht in dem Maße wie sonst immer kleiner und kleiner. Aber es ist viel wichtiger zu wissen, was aus dem Anteil der Energie wird, welcher durch den Widerstand der Luft, durch die Reibung u. s. w. verloren geht.

Wenn wir einem Billardball durch einen Stoß eine gewisse Geschwindigkeit mitteilen, so wird durch seine Bewegung auf der horizontalen Fläche keine Arbeit geleistet wie bei der vertikalen Bewegung nach oben; es geht nicht Energie der Bewegung in Energie der Lage über, also müsste die Energie der Bewegung unverändert fortdauern, der Ball müsste sich mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit in alle Ewigkeit fortbewegen. Wenn er die Bande trifft, wird die Richtung der Bewegung geändert, aber auf die Geschwindigkeit könnte dies keinen Einfluss ausüben.[1])

In Wirklichkeit aber beobachten wir eine stetige Abnahme der Geschwindigkeit und schließlichen Stillstand des Balls. Auch hier schreiben wir den Verlust der Reibung zu. Aber was ist dabei aus der Energie geworden? Dieselbe Frage können wir auch für unseren zuerst betrachteten Fall stellen. Was ist aus der Energie der abgeschossenen Bleikugel geworden, wenn sie eine

[1]) Wenn der Ball auf einen anderen stößt, teilt er diesem einen Teil seiner Energie mit; statt der Masse m bewegen sich jetzt zwei Massen m und m' mit verminderten Geschwindigkeiten, aber die Summe der so geteilten Energieen e' und e'' müsste gleich sein der ursprünglichen Energie e.

Anzahl von Brettern durchschlagen hat und schließlich im fünften oder im zehnten Brette stecken geblieben ist?

9. Die Antwort auf diese Fragen ist, dass die Energie in allen diesen Fällen von den Massen auf die Molekeln übertragen worden ist. Diese molekularen Bewegungen sind zwar dem Auge nicht sichtbar; ihre Wirkungen aber sind auf andere Weise nachweisbar und messbar. 9. Molekularbewegung.

Molekularbewegungen, d. h. Lageveränderungen der Molekeln innerhalb der sichtbaren Begrenzung des ganzen Körpers, kommen vor bei elastischen Körpern infolge eines von außen einwirkenden Zuges oder Druckes. Das Gleiche gilt für die Volumsänderungen infolge wechselnder Temperatur. Wird ein metallener Stab an seinem einen Ende gegen ein festes Widerlager angestemmt und dann durch untergesetzte Flammen erwärmt, so verlängert er sich. Alle seine Molekeln entfernen sich um ein Geringes voneinander; da sie aber nach dem angestemmten Ende nicht ausweichen können, so vollzieht sich die Bewegung nur nach der anderen Richtung. Die kleinen Bewegungen summieren sich, wie man an der schematischen Darstellung (Fig. 3) sieht. Dadurch wird

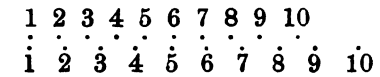


Fig. 3.
Molekularverschiebung durch Erwärmung.

die Bewegung an dem freien Ende leicht nachweisbar.

Schwingende Bewegungen der Molekeln, durch welche keine oder doch nur geringfügige äußerlich wahrnehmbare Gestaltsveränderungen verursacht werden, kommen bei den Schallerscheinungen vor. Die Lageveränderungen der Molekeln sind hierbei meistens periodisch wechselnde; sie wiederholen sich in regelmäßigen Zeitintervallen.

Die Schallschwingungen der Molekeln sind zuweilen leicht erkennbar. Eine tönende Stimmgabel, welche wir sanft berühren, verursacht durch ihr periodisches Anschlagen an unsere Fingerspitzen ein charakteristisches Gefühl. Befestigt man an der Zinke einer solchen Stimmgabel eine feine Schreibspitze, so kann man die Schwingungen auf einer bewegten Fläche aufschreiben, was dazu dient, ihre Elongation und Geschwindigkeit zu bestimmen (vgl. den Anhang). Die Bewegungen schwingender Saiten kann man, wenn sie langsam genug erfolgen, sehen; eine gespannte Saite, auf welche wir leichte Papierschnitzel lose aufsetzen, wirft dieselben, wenn sie zum Tönen gebracht wird, ab. In anderen Fällen haben die molekularen Bewegungen Verdichtungen und Verdünnungen der Massen zur Folge, welche durch feinere Hilfsmittel nach-

gewiesen werden können, z. B. durch Einwirkung auf polarisiertes Licht, (vergl. S. 72, Anmerkung).

Aus Gründen, welche wir noch kennen lernen werden, nehmen wir an, dass die Molekeln aller materieller Körper in fortwährender schwingender Bewegung sich befinden, und dass die Geschwindigkeit dieser molekularen Bewegung mit steigender Temperatur größer wird. Daraus folgt, dass jeder Körper, ganz abgesehen davon, ob er als Ganzes sich in Ruhe oder in Bewegung befinden mag, einen gewissen Betrag von Energie enthält, und dass dieser Betrag um so größer ist, je höher seine Temperatur ist. Wir nehmen also an, dass es außer den früher von uns betrachteten Fällen von Energie molarer Lage und molarer Bewegung, d. h. also außer der Energie der Massen, auch noch Energie der Molekeln giebt. Auch bei ihr können wir Energie der Lage und Energie der Bewegung unterscheiden. Das, was wir Wärme nennen und an ihren charakteristischen Wirkungen (Erregung gewisser Empfindungen durch unsere Hautnerven, Volumsveränderungen der Körper u. s. w.) erkennen, fassen wir als Energie molekularer Bewegung auf.

10. Molekulare Energie.

10. Energie der molekularen Lage ist gegeben bei elastischen Körpern, wenn dieselben in den Zustand sogenannter Spannung versetzt werden, z. B. elastische Federn durch Biegung oder Gase durch Kompression u. s. w. Wir wollen, um diesen Fall zu erläutern, nochmals den Versuch mit dem Abschießen einer Kugel betrachten. Stellen wir uns wieder vor, die Kugel würde in vertikaler Richtung aufwärts geschossen. Sie steigt bis zu einer gewissen Höhe h auf, welche wir berechnen können, wenn wir die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel kennen. In dieser Höhe h haben wir einen Gehilfen aufgestellt, welcher die Kugel, sobald sie oben ankommt, auffängt. Er kann dies ungestraft thun, denn die Kugel hat während ihres Aufsteigens ihre ganze Molarenergie nach und nach ausgegeben, so dass sie, oben angekommen, vollkommen harmlos ist. Es liegt nun ganz in unserer Hand, was wir weiter mit der Kugel machen wollen. Wir können sie oben in einen Kasten legen; die Energie der Lage, in welche die Energie der Bewegung umgewandelt worden ist, bleibt dann sozusagen aufgespeichert. Sobald wir aber die Kugel fallen lassen, wird die Energie der Lage wieder in Energie der Bewegung zurückverwandelt.

Nun nehmen wir statt eines mit Pulver zu ladenden Gewehrs eine sogenannte Federbüchse zur Hand. Während bei dem ersteren der Stoß auf die Kugel, welche ihr Geschwindigkeit mitteilt, durch die Elastizität der bei der Explosion des Pulvers entstehenden Gase bewirkt wird, geschieht dies bei der Federbüchse

durch den Stoß einer vorher gespannten metallischen elastischen Spiralfeder.

Um der Feder diese Spannung zu erteilen, musste Arbeit verrichtet werden. Durch Drehung einer Kurbel wurde die Feder auf einen kleineren Raum zusammengedrückt, als sie vorher einnahm. Die Teilchen der Feder sind dadurch in eine abnorme Lage gebracht worden und haben infolgedessen eine Energie der Lage erlangt, welche wieder in Energie der Bewegung umgewandelt wird, sobald der sogenannte Abzug beiseite geschoben wird.

Auch eine Windbüchse, bei welcher die Arbeit zur Kompression von Luft verwendet wird, wirkt in ähnlicher Weise. In der komprimierten Luft sind die Molekeln viel näher aneinander gerückt, als dies bei gewöhnlichem Druck der Fall ist. Bei Öffnung eines Ventils dehnt sich die Luft wieder aus und erteilt damit der Kugel einen Stoß, wodurch diese eine gewisse Geschwindigkeit erlangt.

In beiden Fällen wurde Arbeit aufgewandt, um die Molekeln der Feder oder der Luft in eine Lage zu bringen, in welcher sie fähig waren, Arbeit zu leisten. Wir haben es also mit Fällen von Energie molekularer Lage zu thun, welche ganz analog ist der Energie molarer Lage, welche die Büchsenkugel erlangt hatte, als sie an dem oberen Ende ihrer Bahn aufgefangen wurde. Die Analogie wird noch vollständiger dadurch, dass auch diese Energie der Lage, wenn sie einmal erzeugt ist, beliebig lange aufgespeichert werden kann, ehe sie sozusagen losgelassen, d. h. in Energie der Bewegung umgesetzt wird. Bei der in der Höhe aufgefangenen Kugel geschieht das durch Fallenlassen, bei der gespannten Feder durch Wegziehen des Abzugs, bei der komprimierten Luft durch Öffnen des Ventils.

11. Die Energie der Bewegung, welche eine Kugel beim Fallen erlangen kann, hängt von der Fallhöhe ab, d. h. von dem Unterschied der Energie der Lage, die sie vor und nach dem Fall hat.[1]) Ganz ähnlich ist es bei der Feder- und der Windbüchse. Die Geschwindigkeit, welche die Kugel in einer solchen Büchse erlangen kann, hängt von der Spannung der Feder oder der Luft ab, und diese wiederum von der Arbeit, welche zum Aufziehen der Feder oder zur Kompression der Luft aufgewendet wurde. 11. Ursache der Energieverluste.

[1]) Liegt die Kugel auf der Erdoberfläche, so ist sie vom Erdmittelpunkt um die Größe r (den Radius der Erdkugel) entfernt. Wird sie auf die Höhe h gehoben, so beträgt ihre Entfernung vom Erdmittelpunkt jetzt $r + h$. Von diesen Entfernungen hängt die Energie der Lage, welche ihr in beiden Fällen zukommt, ab. Ähnlich ist es in analogen Fällen. Wird eine Gasmasse von dem Volumen V auf das Volumen $^1/_2 V$ zusammengepresst, so wird auch die mittlere Entfernung seiner Molekeln voneinander auf die Hälfte vermindert; diese erlangen dadurch eine größere Energie der Lage. Näheres über diesen Fall findet man im folgenden Kapitel.

Namentlich in dem letzteren Fall wird man bei genaueren Messungen finden, dass die Energie der Kugel um einen gewissen Betrag kleiner ausfällt, als es der zur Kompression der Luft aufgewandten Arbeit entspricht. Der Versuch giebt uns aber zugleich eine Andeutung, was die Ursache dieses scheinbaren Verlustes sein könnte.

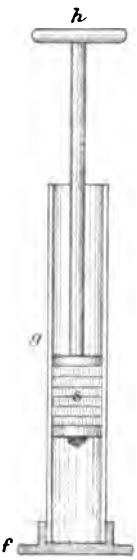


Fig. 4.
Pneumatisches Feuerzeug. Die gut cylindrische Glasröhre *g* ist unten durch eine aufgekittete Messingfassung *f* geschlossen. In ihr ist der luftdichtschließende Stempel *s* durch den Handgriff *h* verschiebbar. Befestigt man an *s* ein Stückchen Zündschwamm, setzt *s* in den Anfangsteil von *g* und treibt den Stempel durch einen kräftigen Schlag nach unten, so erwärmt sich die Luft in *g* dermaßen, dass der Zündschwamm entzündet wird.

Es ist bekannt, dass Luft durch Kompression erwärmt wird. Um dies zu demonstrieren, bedient man sich des pneumatischen Feuerzeugs (Fig. 4). In einen kleinen, unten geschlossenen Glascylinder ist ein gut schließender Stopfen luftdicht eingepasst. Der Stopfen sitzt an einem Handgriff, mittelst dessen er in dem Cylinder verschoben werden kann. Man befestigt an der unteren Fläche einen leicht entzündlichen Körper, Zunder oder dergleichen. Setzt man den Stopfen in den Anfangsteil des Cylinders und treibt ihn durch einen kräftigen Schlag tiefer hinein, so entzündet sich der Zunder infolge der starken Erwärmung.

Auch die in der Luftkammer der Windbüchse komprimierte Luft erwärmt sich; die Temperaturzunahme kann durch die Hand oder auf andere geeignete Weise erkannt werden. Ist aber, wie wir angenommen haben, Wärme eine Art von Energie molekularer Bewegung, dann stellt sich jetzt die Sache so dar: Die Arbeit, welche zur Luftkompression aufgewandt worden ist, wurde zum Teil in Energie molekularer Lage (Erzeugung komprimierter Luft), zum Teil in Energie molekularer Bewegung (Erwärmung der Luft) umgewandelt. Die entstandene Wärme wurde an die Umgebung abgegeben. Nur der erstere Anteil der Energie blieb aufgespeichert und konnte zur Bewegung der Kugel dienen.

Diese Erklärung passt auch auf die Fälle, wo das Pendel oder die Billardkugel durch Reibung Energie verlieren. Es ist ja bekannt, dass, wie man zu sagen pflegt, durch Reibung „Wärme entsteht“. Wenn zwei Körper gegeneinander gerieben werden, so wird die dabei aufgewendete mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt. Es fragt sich, ob man die Energie in dieser neuen Form der Wärme messen und, wenn das möglich ist, dann finden kann, wie sich die Summe der verschiedenen Formen von Energie zu der ursprünglichen Energiemenge verhält.

12. Zu diesem Zweck müssen wir uns zunächst nach einem zuverlässigen Maß für „die Wärme“ umsehen. Die Temperatur allein ist dazu nicht brauchbar. Wenn wir eine und dieselbe Wärmequelle auf verschiedene Körper wirken lassen, so finden wir, dass sie ungleich erwärmt werden. Wie gelangen wir also zu einer Maßeinheit für Wärme? 12. Messung der Wärme.

Ist das, was wir „Wärme“ nennen, eine Art von Energie, so kann sie wie andere Energieen gemessen werden durch ihre Wirkung, durch die Arbeit, welche sie zu leisten vermag. Diese Auffassung der Wärme hat sich nur allmählich in der Wissenschaft Bahn gebrochen. Noch bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts sprach man von der Wärme, als wäre sie ein Stoff. Da ein Körper, wenn man ihn erwärmt, nicht schwerer wird, so reihte man den „Wärmestoff“ unter die unwägbaren Stoffe oder Imponderabilien ein. Obgleich wir diese Auffassung verlassen haben, so bedienen wir uns doch noch der alten Ausdrucksweise und sprechen von Wärmemengen, wie wir von Kilogrammen sprechen. Das schadet auch nichts, wenn wir uns nur bewusst bleiben, dass darunter keine Stoffmengen, sondern Energiewerte verstanden werden sollen.

Wenn zwei Körper A und B von ungleicher Temperatur miteinander in Berührung sind, so gleicht sich der Temperaturunterschied aus. Der wärmere Körper wird kälter, der kältere wärmer. Der Ausgleich erfolgt um so schneller, je inniger die Berührung ist. Mischen wir 1 kg Wasser von 80^0 und 1 kg Wasser von 20^0, so erhalten wir 2 kg Wasser von 50^0. Mischen wir aber 1 kg Wasser von 80^0 mit 1 kg Quecksilber von 20^0, so nimmt die Masse eine Temperatur von $78^0{,}25$ an. Im ersteren Falle hat also das eine Kilogramm Wasser verloren 30^0, und diese Wärmemenge hat ausgereicht, um ein anderes Kilogramm Wasser um 30^0 zu erwärmen. Im zweiten Falle aber hat das Kilogramm Wasser verloren $1^0{,}75$, und diese Wärmemenge hat ausgereicht, um 1 kg Quecksilber um $58^0{,}25$ zu erwärmen. Quecksilber kann also leichter erwärmt werden als Wasser.

Ähnliche Ergebnisse erhält man auch mit anderen Stoffen. Man ist deshalb übereingekommen, für die Messung der Wärmemengen die Wirkung auf Wasser zu Grunde zu legen und benutzt als Einheit diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser um einen Grad Celsius zu erwärmen. Diese Wärmemenge nennt man eine Calorie[1]).

[1]) Wo kleine Wärmemengen zu messen sind, bedient man sich als Einheit des tausendsten Teils einer Calorie; man nennt sie zum Unterschied eine kleine Calorie. Sie entspricht der Wärmemenge, welche 1 g Wasser um 1^0 zu erwärmen vermag. In der Physiologie hat man es oft mit noch kleineren Wärmemengen zu thun, für welche selbst die kleine Calorie noch ein zu großes Maß

Wenn wir das Gewicht g auf die Höhe h heben, so verrichten wir eine Arbeit $= g.h.$ Wenn das Gewicht wieder um die Höhe h fällt, so wird die dieser Arbeit äquivalente Energie frei. Wir können nun den Versuch so einrichten, dass durch das fallende Gewicht zwei sich berührende Metallplatten gegeneinander gerieben werden. Dadurch wird die gesamte Energie des fallenden Gewichts in Wärme umgewandelt. Wenn die Platten im Wasser liegen, so geht die Wärme auf das Wasser über. Auf diese Weise fand der englische Physiker JOULE, dass die dem Fallen von 424 kg um einen Meter entsprechende Energie 1 kg Wasser um einen Grad erwärmt. Also entspricht die Molekularenergie einer Calorie der Molarenergie, welche 424 kg 1 m hoch heben, d. h. 424 kgm Arbeit leisten könnte. Man sagt daher, das mechanische Äquivalent einer Calorie sei = 424 kgm.

Ebenso wie in diesem Versuch mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt wird, kann man auch Wärme in mechanische Arbeit umwandeln. Das geschieht in den thermo-dynamischen Maschinen, zu denen u. a. die Dampfmaschine gehört. Ein Teil der dem Wasser im Dampfkessel zugeführten Wärme wird durch die Dampfspannung in Bewegung des Kolbens und damit in mechanische Arbeit umgewandelt. In solchen Fällen wird für jede von dem Dampf aufgenommene Calorie eine Arbeit von 424 kgm geleistet.

13. Chemische Energie.

13. Die hauptsächlichste Quelle der Wärmeerzeugung ist die sogenannte chemische Verwandtschaft. Wenn Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser vereinigen, so wird Energie frei, die als Wärme oder auch, wenigtens zum Teil, als mechanische Arbeit auftreten kann. Der Vorgang, bei welchem ein Körper sich mit Sauerstoff vereinigt, wird Oxydation oder Verbrennung genannt. Die dabei auftretende Wärme nennt man Verbrennungswärme. Jedem Stoff kommt eine ganz bestimmte Verbrennungswärme zu. Wenn 1 kg Wasserstoff zu Wasser verbrennt, so wird dabei so viel Wärme frei, dass 34000 kg Wasser um 1^0 erwärmt werden. Die Verbrennungswärme des Wasserstoffs ist also = 34000. Die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs, wenn er sich mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd vereinigt, ist = 8000.

Die bei Oxydationen oder anderen chemischen Prozessen in Gestalt von Wärme auftretende Energie kann als ein Fall von Umwandlung von

---

ist. Man rechnet dann mit dem tausendsten Teil einer kleinen Calorie, also mit derjenigen Wärmemenge, welche 1 mg Wasser um 1^0 erwärmt. Man nennt sie eine Mikrocalorie. Das Zeichen für eine große Calorie ist: 1 Ca, für eine kleine Calorie: 1 ca, für eine Mikrocalorie: 1μca. Es ist also:

1 Ca = 1000 ca = 1 000 000 μca
1 ca = 1 000 μca.

Energie der Lage in Energie der Bewegung angesehen werden. Stellen wir uns ein Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff vor. Jedes dieser Gase besteht aus Molekeln, die ihrerseits aus Atomen zusammengesetzt sind, u. z. bestehen die Sauerstoffmolekeln aus je zwei Sauerstoffatomen, die Wasserstoffmolekeln aus je zwei Wasserstoffatomen. In dem Gemenge beider Gase sind diese beiden Molekelarten durcheinander gemischt; sie sind alle in lebhafter Bewegung, in um so lebhafterer, je höher die Temperatur des Gasgemenges ist. Entstehen durch Annäherung einer Flamme, durch einen elektrischen Funken oder sonst eine Ursache Störungen innerhalb der Molekeln, so können die Sauerstoff- und Wasserstoffatome in so nahe Berührung kommen, dass sie sich untereinander vereinigen, u. z. derart, dass je zwei Wasserstoffatome mit je einem Sauerstoffatom zusammen eine Wassermolekel bilden. Die Wasserstoff- und Sauerstoffatome stellen also, solange sie unverbunden sind, vermöge ihrer Verwandtschaft zueinander, einen Fall von Energie der Lage dar; sie streben sozusagen einander zu, wie ein gehobenes Gewicht zu fallen bestrebt ist. Bei dem Übergang aus der einen Lage der Atome in die andere wird die Energie der Lage der Atome in Energie molekularer Bewegung umgewandelt. Es tritt Erwärmung auf in dem oben erwähnten Betrage, d. h. für jedes kg Wasserstoff 34000 Calorieen. Ähnliches findet bei allen anderen Verbrennungsprozessen und im allgemeinen überhaupt bei der Entstehung chemischer Verbindungen statt. Wenn dagegen chemische Verbindungen getrennt werden sollen, so muss die Energie der Lage der Atome wieder hergestellt werden. Es muss Arbeit geleistet werden, ähnlich wie bei der Hebung eines Gewichts. Dazu bedarf es eines Aufwandes anderer Energie, z. B. der Zufuhr von Wärme von außen.

Durch bestimmte Anordnungen kann man bewirken, dass die bei chemischen Prozessen auftretende Energie statt in der Form von Wärme ganz oder zum Teil in anderen Energieformen erscheint. Wenn, wie es in der Dampfmaschine der Fall ist, ein Teil der Wärme in mechanische Arbeit verwandelt wird, so tritt dafür weniger Wärme in die Umgebung aus. Die Summe dieser nach außen abgegebenen Wärme plus der Arbeit (für welche man ihr calorisches Äquivalent, d. h. je 1 Ca für 424 kgm, setzen kann) ergiebt denselben Betrag, als wenn alle Energie als Wärme aufgetreten wäre. Der Gesamtbetrag der Energie bleibt also derselbe.

Auch in den lebenden Wesen finden Verbrennungen statt, deren Energie als Wärme und mechanische Arbeit zur Erscheinung kommt. Dabei geht mechanische Arbeit zum Teil direkt aus der chemischen Energie hervor, ohne wie bei der Dampfmaschine den Umweg über die Form der Wärme zu machen. Immer aber muss auch in diesem Falle die Summe aller auftretenden Energieformen gleich derjenigen

Energie sein, welche aus der Verbrennungswärme aller innerhalb des Lebewesens vorgehenden Oxydationen berechnet werden kann.

14. Energie des Äthers.

14. Wie wir uns vorstellen, dass die Molekeln innerhalb eines Körpers in schwingender Bewegung sind, so denken wir uns auch, dass die Atome innerhalb einer jeden Molekel sich bewegen, und dass diese Bewegungen um so lebhafter werden, je höher die Temperatur ist. Das kann unter Umständen dazu führen, dass die Verwandtschaft der in einer Molekel vereinigten Atome überwunden und eine chemische Verbindung in einfachere Bestandteile zerlegt wird. Auf Erscheinungen dieser Art werden wir an einer späteren Stelle noch näher eingehen. Ebenso denken wir uns die Molekeln oder Atome des Äthers in fortwährenden schwingenden Bewegungen begriffen. Dementsprechend kommt also auch dem Äther Energie zu, deren Wirkungen sich in den Erscheinungen des Lichts, der Elektrizität und des Magnetismus äußern. Wenn das, was wir Licht nennen, eine Erregung gewisser Nervenapparate hervorbringen kann, so muss es selbst eine Art von Energie sein. Da die Erscheinungen des Lichts zu der Vorstellung geführt haben, dass sie auf Schwingungen des hypothetischen Äthers beruhen, so müssen wir die Vorgänge, welche wir Licht nennen, als einen Fall von Energie der Bewegung des Äthers ansehen.

Das Licht ist imstande, verschiedene Wirkungen auszuüben. Mischen wir im Dunkeln Chlor und Wasserstoff, so kann das Gemenge sehr lange aufbewahrt werden, ohne sich zu verändern. Sobald es aber dem Lichte ausgesetzt wird, vereinigen sich die Gase unter starker Wärmeentwicklung zu Chlorwasserstoffgas[1]). Fällt Licht auf gewisse chemische Verbindungen, z. B. Chlorsilber, so wird die Verbindung zerlegt. In anderen Fällen kann das Licht entweder unverändert durch die Körper hindurchgehen, oder es wird mehr oder weniger vollständig zurückgehalten. Im letzteren Falle, wenn die Körper undurchsichtig sind, werden sie erwärmt, d. h. die Energie der Ätherbewegung wird auf die materiellen Molekeln übertragen, sie wird in Molekularenergie umgewandelt. Etwas Ähnliches geschieht in den beiden ersterwähnten Beispielen. Es kann aber auch die Energie der Molekeln auf den Äther übergehen. Wird die Temperatur eines materiellen Körpers gesteigert, so wird die Energie der Schwingungen seiner Molekeln größer. Die

[1]) Die Wärmeentwickelung beruht, wie immer bei dem Entstehen einer chemischen Verbindung, auf der Verwandlung der chemischen Energie der Lage in Energie molekularer Bewegung. Die Wirkung des Lichts besteht nur darin, den Prozess der Vereinigung der gemischten Bestandteile einzuleiten. Sind die Gase in dem Verhältnis gemischt worden, in welchem sie sich vereinigen, (gleiche Volumina), so geht die Vereinigung bei intensivem Licht mit großer Heftigkeit vor sich, es entsteht eine starke Explosion. Es ist deshalb bei Ausführung des Versuchs Vorsicht geboten. Vgl. auch die Anm. 2 auf S. 111.

Energie der molekularen Bewegung wird zum Teil auf die zwischen den Molekeln vorhandenen Ätherteilchen und von diesen auf die Ätherteilchen außerhalb des Körpers übertragen. Es gehen also von jedem Körper fortwährend Ätherschwingungen aus, welche sich nach allen Richtungen fortpflanzen. Wenn diese Schwingungen unsere Haut treffen, so werden sie als Wärme empfunden; treffen sie auf andere Körper, so wird deren Temperatur erhöht. Deshalb nennen wir diese Energieform strahlende Wärme. Wenn die Zahl der Schwingungen zwischen gewissen Grenzen liegt, so können dieselben auch auf unsere Sehnerven einwirken. Wir sagen dann, dass die Körper leuchten oder Licht aussenden.

In dem zuletzt beschriebenen Falle ist also Energie molekularer Bewegung in Energie der Ätherbewegung umgewandelt worden, in den vorhergehenden Fällen umgekehrt Energie der Ätherbewegung in Molekularbewegung[1]).

15. Elektrische Erscheinungen.

15. Wenn wir zwei verschiedene Metalle, sagen wir Zink und Platin, in eine geeignete Flüssigkeit eintauchen, so erhalten wir eine sogenannte galvanische Kette. Werden die hervorragenden Enden der Metalle durch einen Draht verbunden, so entsteht ein Vorgang, welchen wir als elektrischen Strom bezeichnen; derselbe lässt sich durch bestimmte Wirkungen sowohl innerhalb der Leiter, in denen er fließt, als auch außerhalb derselben erkennen. Die vom Strom durchflossenen Leiter werden erwärmt oder, wenn sie chemisch zersetzbar (sogenannte Elektrolyte) sind, in ihre Bestandteile zerlegt; leitet man den Strom an einer beweglich aufgehängten Magnetnadel vorbei, so wird diese aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Ruhelage abgelenkt. Aus diesen und anderen Wirkungen erkennen wir, dass das, was wir elektrischen Strom nennen, eine Form von Energie ist, die wir durch jene Wirkungen messen und mit anderen Energieformen vergleichen können.

In jeder galvanischen Kette gehen chemische Prozesse vor sich. Das metallische Zink verbindet sich mit Sauerstoff; durch diese Oxydation würde, wenn sie unter anderen Bedingungen erfolgte, nur Wärme erzeugt werden. Unter den in der Kette gegebenen Bedingungen aber tritt die Energie ganz oder zum Teil in der Form elektrischer Strömung auf. Ein Teil dieser Energie wird dann wieder in den Leitern in die Molekularbewegung der Wärme umgewandelt oder, beim Durchgang durch Elektrolyte, zu deren Zerlegung verwendet. Genaue Messungen haben gezeigt, dass die Summe aller im

[1]) Eine solche Umwandlung findet auch statt, wenn Ätherschwingungen unsere Haut treffen, gleichgiltig, ob sie vorher sichtbar waren oder nicht. Sie steigern die Energie der molekularen Bewegung in der Haut; diese Zunahme der molekularen Bewegung wird als Wärme empfunden.

Stromkreise auftretenden Energieen, d. h. die elektrische Strömung, die Zerlegung der Elektrolyte, die Wärmebildung u. s. w., von der Menge des oxydierten Zinks abhängt und stets gleichwertig oder äquivalent ist der durch anderweitige Oxydation des Zinks erhaltenen Verbrennungswärme[1]).

Der elektrische Strom kann auch ponderomotorische oder mechanische Wirkungen ausüben, d. h. Bewegungen von Massen hervorbringen, und ebenso können durch mechanische Arbeit elektrische Ströme erzeugt werden. Das Letztere wird in neuerer Zeit bekanntlich in großem Maßstab in der Starkstromtechnik ausgenützt. Auch in diesen Fällen bestehen zwischen der mechanischen und der durch sie erzeugten elektrischen Energie sowie allen von dieser hervorgebrachten Wirkungen bestimmte Beziehungen in der Art, dass der Gesamtbetrag aller in verschiedenen Formen auftretenden Energieen äquivalent ist der zur Erzeugung der Ströme verwandten Energie molarer Bewegung. Wird diese durch Dampfmaschinen oder ähnliche Einrichtungen gewonnen, so kann man an Stelle der mechanischen Energie die zu ihrer Erzeugung erforderliche Verbrennungswärme direkt mit der erzeugten elektrischen Energie vergleichen.

16. Unveränderlichkeit der Energiemenge.

16. Aus alledem geht hervor, dass die verschiedenen Energieformen ineinander umgewandelt werden können, dass aber bei diesen Umwandlungen der Gesamtbetrag der Energie nicht vermehrt und nicht vermindert wird. Um das Letztere nachzuweisen, muss man auch auf die Umwandlungen in solche Energieformen achten, welche sich bei den Versuchen ohne unser Zuthun einstellen, die wir zwar auf ein Mindestmaß herabsetzen, aber niemals ganz verhindern können. Sie geben den Anlass zu Verlusten an nutzbarer Energie. Je sorgfältiger aber alle in einem verwickelten Vorgang auftretenden Erscheinungen berücksichtigt werden, desto genauer ergiebt sich der Satz von der Unveränderlichkeit der Energie. Dieser Satz stellt sich daher, wie der von der Unveränderlichkeit der Materie, als ein Induktionsschluss aus einer sehr großen Zahl von Einzel-

[1]) Wenn eine Energieform in eine andere umgewandelt wird, so kann man nicht ohne weiteres von Gleichheit sprechen, da die Wirkungen in verschiedenen Maßen ausgedrückt werden. So messen wir die mechanische Arbeit in Kilogrammmetern, die Wärme in Calorieen. Wir haben gesehen, dass bei Umwandlung der ersteren in letztere für jede Calorie 424 kgm Arbeit gewonnen werden. Umgekehrt kann auch durch eine Arbeit von 424 kgm eine Wärmemenge von 1 Ca erzeugt werden. Für diese Beziehung gebraucht man den Ausdruck Äquivalenz. 1 Ca ist also äquivalent 424 kgm. Die elektrische Strömung misst man durch die sogenannte Stromstärke oder Intensität des elektrischen Stroms. Als Maßeinheit dient die in einer Sekunde aus einer Salzlösung durch Elektrolyse abgeschiedene Menge von Metall.

beobachtungen dar, denen kein einziger Fall widersprechender Beobachtungen gegenüber steht. Und da auch alle logischen Deduktionen aus diesem Induktionsschluss von der Erfahrung bestätigt werden und die Annahme, dass die Energiemenge nicht unveränderlich sei, zu Folgerungen führt, welche der Erfahrung widersprechen, so erkennen wir in ihm ein Grundgesetz, welches wir als Analogon zu dem im vierten Kapitel abgeleiteten Grundgesetz von der Unveränderlichkeit der Materie also aussprechen:

Zweiter Hauptsatz der Naturwissenschaft:
Die Summe aller in der Natur vorhandenen Energie ist unveränderlich; sie kann durch keinen bekannten Naturvorgang vermehrt oder vermindert werden.[1])

Überblicken wir noch einmal die verschiedenen Formen von Energie, welche wir kennen gelernt haben. Entsprechend den Bewegungen ganzer Massen oder der materiellen Molekeln (bezw. der Atome) oder des Äthers können wir unterscheiden:

1. Energie der molaren Lage; Beispiel: ein gehobener Stein, ein hoch gelegener Teich u. s. w.
2. Energie der molaren Bewegung; Beispiel: eine abgeschossene Flintenkugel, ein fallender Stein.
3. Energie der molekularen Lage; Beispiel: eine gespannte Feder, komprimierte Luft u. s. w.
   Unterabteilung 3a) Energie der Atomlagerung; Chemische Verwandtschaft.
4. Energie der molekularen Bewegung; Beispiel: ein warmer Körper.[2])
   Unterabteilung 4a) Energie der Atombewegung; bei Oxydationen z. B. übergehend in Energie molekularer Bewegung als Verbrennungswärme.
5. Energie der Lage im Äther: Die Erscheinungen der ruhenden Elektrizität und analoge Erscheinungen des Magnetismus.
6. Energie der Bewegung im Äther: Die Erscheinungen des Lichts, der strahlenden Wärme und der strömenden Elektrizität und die analogen Erscheinungen des Magnetismus.

---

[1]) Dieser Satz wird gewöhnlich der Satz von der Erhaltung der Energie oder der Kraft genannt, analog dem Satz von der Erhaltung der Materie, von welchem im Kapitel 4 § 11 die Rede war. Vgl. die Anm. zu S. 82 u. S. 97.

[2]) Da jeder Körper stets eine bestimmte Temperatur hat, so stellt er auch stets ein Magazin molekularer Energie dar; diese ist um so größer, je höher die Temperatur ist. Arbeit kann durch diese Art von Energie nur geleistet werden, wenn bei ungleicher Temperatur die Wärme von dem wärmeren zum kälteren Körper übergeht.

Welchen Grad von Sicherheit dürfen wir den beiden Hauptsätzen der Naturwissenschaft, den Sätzen von der Unveränderlichkeit der Materie und von der Unveränderlichkeit der Energie, zuschreiben?

Sicherlich ist es nicht möglich, alle einzelnen Fälle von Veränderungen der Stoffe mit der Wage zu verfolgen und festzustellen, dass dabei nichts an Gewicht verloren und nichts gewonnen wird, dass die Summe der dabei ins Spiel kommenden Massen unverändert bleibt. Aber in allen mit peinlichster Sorgfalt durchgeführten Versuchen hat sich diese Unveränderlichkeit herausgestellt. Tausende und aber Tausende genauer Wägungen sind angestellt worden, seitdem Lavoisier auf die Unveränderlichkeit des Gewichts bei den chemischen Prozessen hingewiesen hat, und neue werden täglich in den Laboratorien angestellt; aber niemals hat sich eine Ausnahme gezeigt. Ebenso ist es mit dem Satz von der Erhaltung der Energie. Die zum Beweis desselben erforderlichen Messungen sind schwierig und erfordern gute Apparate und sorgfältigste Ausführung. Wo diese aufgewendet wurde, war der Erfolg stets der gleiche. Niemals konnte ein Verlust oder ein Gewinn an Energie wirklich konstatiert werden. Wir haben ferner gesehen, dass, wenn dieser Satz nicht richtig wäre, es möglich sein müsste, ein Perpetuum mobile zu konstruieren. Da dies aber trotz unzähliger darauf gerichteter Bemühungen niemals gelungen ist, so können wir umgekehrt die auf vielfache Erfahrung begründete Regel von der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile als Bestätigung des Satzes von der Unveränderlichkeit des Energievorrats ansehen. Kurz wir sind berechtigt, diese beiden Hauptsätze als die allgemeinsten Generalisationen aus der Erfahrung so weit für bewiesen anzusehen, als dies überhaupt bei Induktionsschlüssen möglich ist. Wir legen sie deshalb bei der Untersuchung aller Naturvorgänge als selbstverständliche Voraussetzung unseren Betrachtungen zu Grunde und finden auch, soweit alle wissenschaftliche Erfahrung reicht, die aus ihnen gezogenen Folgerungen stets bestätigt. Auch die genaue Untersuchung aller Vorgänge innerhalb der lebenden Wesen und der Wechselwirkung zwischen diesen und der Umgebung hat keinen einzigen Fall kennen gelehrt, welcher jenen beiden Grundgesetzen widerspräche. Wir halten uns daher für berechtigt, sie auch der wissenschaftlichen Erforschung der Lebensvorgänge als Leitsätze zu Grunde zu legen.[1])

17. Auslösung.

17. Ehe wir den Gegenstand verlassen, müssen wir noch einen Punkt besprechen, der von besonderem Interesse für die Physiologie ist. Wir haben gesehen, dass Energie der Lage, wie sie z. B.

[1]) Die Lebewelt als Ganzes stellt, wie später ausführlich dargelegt werden wird, ein großartiges Beispiel für die beiden Grundgesetze von der Unveränderlichkeit des Stoffes und der Energie dar (vgl. Kap. 16 und 17).

in einem gehobenen Gewicht, einer gespannten Feder oder in komprimierter Luft gegeben ist, aufgespeichert werden kann, um zu beliebiger Zeit wieder in Energie der Bewegung umgesetzt zu werden. Eine Kugel, welche in der Höhe von, sagen wir 10 m, auf einer Unterlage liegt, kann dort Tage, Monate oder Jahre liegen; erst wenn sie, etwa durch einen kleinen Stoß, über den Rand der Unterlage weggeschoben, oder wenn diese Unterlage fortgezogen wird, kann sie fallen. Ebenso wird die Federbüchse nicht losgehen, ehe der Sperrhaken, welcher die Feder in ihrer gespannten Lage festhält, fortgezogen, die Luftbüchse nicht, ehe das Ventil geöffnet wird. Die gehobene Kugel, die gespannte Feder u. s. w. stellen also Fälle von vorrätiger Energie dar; aber es bedarf einer Hilfsaktion, um den Übergang der Energie der Lage in Energie der Bewegung zu bewirken.[1]) Diese Hilfsaktion braucht aber in keinem festen Verhältnis zu der freiwerdenden Energie zu stehen. Ein sehr schwacher Stoß kann die Kugel über den Rand der Unterlage fortschieben; wieviel Bewegungsenergie dieselbe dann erlangt, hängt nicht von der Stärke jenes Stoßes, sondern nur von der Masse, welche fällt, und von der Fallhöhe ab. Ein Windstoß oder die leise Erschütterung durch den Fuß einer Gemse vermag einen Felsblock oder eine Lawine zum Fallen bringen, welche dann die größten Verherungen anrichten können. Nicht anders ist es bei der Feder- oder der Luftbüchse; die Wirkung, welche sie ausüben, hängt von der Spannung der Feder oder der komprimierten Luft ab, nicht von der Energie, welche zur Bewegung des Sperrhakens oder des Ventils aufgewendet worden ist.

Es ist also nicht die Energie dieser Hilfsaktion, welche in der nachfolgenden Energie der Bewegung wieder erscheint. Die Hilfsaktion hat nur dazu gedient, die vorhandene Energie der Lage frei zu machen oder, wie wir es nennen, auszulösen. Ähnlich ist es in den meisten Fällen von Umwandlung chemischer Energie der Lage in Energie der Bewegung. Der Funke, welcher ein Pulverfass zur Explosion bringt; die Bewegung des „Abzugs" an einem geladenen Gewehr, welcher die Ladung der Patrone entzündet; der elektrische Funke, welcher in einem Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff die Vereinigung zu Wasser veranlasst, sie alle sind Beispiele von Auslösung[2]). Was ausgelöst wird, ist in diesen Fällen die Energie der Lage, welche wir chemische Verwandtschaft nennen. Was dabei an Energie der Bewegung, sei es als Wärme,

[1]) Daher die Bezeichnung „potentielle Energie"; vgl. S. 97 und die dazu gehörige Anmerkung.

[2]) Eine Auslösung ist auch die oben, S. 106, erwähnte Wirkung des Lichts auf ein Gemenge von Chlor und Wasserstoff.

mechanische Arbeit oder sonst eine Energieform, zum Vorschein kommt, ist nicht von der Größe der zur Auslösung aufgewendeten Energie, sondern von der Menge der ausgelösten Energie der Lage abhängig. Zu den Auslösungen gehören auch die Reize, welche bei den Lebensvorgängen eine große Rolle spielen. Von ihnen wird später ausführlich die Rede sein.

18. Abgestufte Auslösung.

18. Es ist nicht notwendig, dass durch die Auslösung sofort die ganze vorhandene Energie der Lage in Energie der Bewegung übergeführt wird. Wenn bei der Windbüchse das Ventil nur auf kurze Zeit geöffnet wird, so kann nur ein Teil der komprimierten Luft entweichen; in der zurückgebliebenen Luft bleibt dann noch Energie der Lage zurück. Eine neue Ventilöffnung kann wieder einen Teil derselben auslösen u. s. f. Bei genügend großer Luftkammer und genügender Kompression kann man daher mit einer solchen Büchse vielmal hintereinander schießen. Ein noch lehrreicheres Beispiel bietet jede Uhr. Es muss eine gewisse Arbeit geleistet werden, um die Uhr aufzuziehen, entweder durch Hebung eines Gewichts oder durch Spannung einer Feder. Beim Aufziehen der Uhr wird also Energie der Bewegung in Energie der Lage umgewandelt. Beim Gehen der Uhr wird diese letztere wieder in Energie der Bewegung zurückverwandelt; das Gewicht fällt oder die Feder wird entspannt, und zugleich werden Räderwerk und Zeiger in Bewegung gesetzt. Aber diese Rückverwandlung geht in einzelnen, rhythmischen Entladungen vor sich, indem durch die Bewegung des Pendels (oder bei der Taschenuhr der Unruhe) und des Sperrhakens immer nur ein Bruchteil der Energie der Lage ausgelöst, der Rest aber aufgespeichert erhalten wird. So kommt es, dass die Energie, welche wir in wenigen Sekunden beim Aufziehen der Uhr aufgewendet haben, in Stunden oder auch bei manchen Uhren in Tagen oder Monaten, gleichsam in homöopathischen Dosen, wieder ausgegeben wird. Ähnliche Vorgänge kommen auch bei den Lebenserscheinungen vor. Erst die richtige Erkenntnis der beiden Grundgesetze der Naturwissenschaft hat eine wahre, wissenschaftliche Erkenntnis dieser physiologischen Vorgänge ermöglicht.

Sechstes Kapitel.

Verhalten der Gase und Flüssigkeiten.

1. Wir haben gesehen, dass man alle Naturvorgänge in zwei Gruppen trennen kann, physikalische und chemische (Kap. 4 § 8). Letztere treten in der Regel nur da auf, wo zwei chemisch verschiedene (differente) Stoffe zusammentreffen. Von ihnen wird später die Rede sein. Vorher wollen wir eine Anzahl von rein physikalischen Erscheinungen besprechen, welche bei den Lebensprozessen eine Rolle spielen. 1. Eigenschaften der Körper.

Alle Vorgänge sind von den Eigenschaften der Stoffe, an denen sie sich abspielen, und von deren Zuständen abhängig.[1]) Die Eigenschaften der Stoffe hängen von ihrer chemischen Beschaffenheit ab. Jedes Element hat seine unveränderlichen Eigenschaften, ebenso jede bestimmte chemische Verbindung. Es kommen aber in der Natur auch Gemenge mit bestimmten, in der Regel nur innerhalb enger Grenzen schwankenden Verhältnissen ihrer Bestandteile vor; bei anderen wieder ist auch die Anordnung der Bestandteile eine bestimmte. In allen diesen Fällen haben auch die Gemenge bestimmte Eigenschaften, so dass man von ihnen wie von einfachen Stoffen oder von chemischen Verbindungen reden kann.

So ist die atmosphärische Luft ein Gemenge von Sauerstoff, Stickstoff und geringen Spuren anderer Gase von nahezu unveränderlicher Zusammensetzung und deswegen auch von ganz bestimmten Eigenschaften. Dasselbe gilt vom Blut, der Milch, dem Harn etc.; sind auch bei diesen letzteren die vorkommenden Schwankungen in der Zusammensetzung nicht in ganz so enge Grenzen eingeschlossen wie bei der Luft, so sind sie doch immer klein genug, um von den betreffenden Flüssigkeiten als von Dingen eigener Art mit bestimmten Eigenschaften sprechen zu können.

Welche Bedeutung der Anordnung zukommt, mögen folgende Beispiele erläutern. Das Mineral Quarz ist eine chemische Verbindung

[1]) Wir sehen bei den folgenden Erörterungen ganz ab von den Erscheinungen der Schwere, welche aller Materie ganz gleichmäßig zukommen.

der Elemente Silicium und Sauerstoff; ein anderes Mineral, Glimmer, ist eine Verbindung von Silicium, Sauerstoff, Aluminium, Kalium und Wasserstoff; ein drittes, Feldspat, besteht aus Kalium, Aluminium, Silicium und Sauerstoff. Alle drei Mineralien aber, in gewisser Weise vereinigt, bilden ein Gestein von ganz bestimmten Eigenschaften, den Granit. — Eine Anzahl von Verbindungen von Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff in bestimmten Verhältnissen werden unter dem Namen Kohlenhydrate zusammengefasst. Andere Verbindungen, welche dieselben Elemente, aber in anderen Verhältnissen enthalten, bilden die Gruppe der Fette. Aus den Elementen Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, meistens noch mit geringen Mengen von Phosphor und Schwefel, bestehen Verbindungen, welche man als *Proteine* bezeichnet. Stoffe aus diesen drei Gruppen von chemischen Verbindungen, in verschiedenen Verhältnissen untereinander und mit Wasser und in diesen gelösten Salzen gemischt, bilden die Massen, aus denen die Körper der Lebewesen bestehen. Diese Gemenge sind zu Zellen, Fasern u. s. w. geformt; aus ihnen bestehen die Gewebe und Organe und schliesslich die gesamten Körper der Lebewesen mit allen den Tieren und Pflanzen zukommenden eigentümlichen Eigenschaften.

Wir beginnen die Betrachtung der allgemeinen Eigenschaften der Stoffe am besten mit Besprechung des gasförmigen Zustands, weil bei diesem die Verhältnisse am einfachsten zu liegen scheinen und am leichtesten zu übersehen sind. Wir haben guten Grund anzunehmen, dass in den Gasen die Molekeln sehr weit voneinander entfernt sind.[1]) Sie wirken deshalb wenig oder gar nicht aufeinander; jede Molekel kann, unbehindert von ihren Nachbarn, allen auf sie einwirkenden Bewegungsantrieben folgen. So kommt es, dass sich, wie wir gleich sehen werden, alle Gase physikalisch ganz gleich verhalten, was bei flüssigen und festen Körpern viel weniger der Fall ist.

Wenn man mit Gasen Versuche anstellen will, muss man sie in Gefäße einschließen. Einen zur Demonstration der Eigenschaften der Gase geeigneten Apparat stellt Fig. 5 (auf S. 115) dar. Vier schlanke Glasröhren gehen wie die Arme eines Armleuchters von einem gemeinsamen Rohr aus. Letzteres ist in einem Bogen nach aufwärts gekrümmt; es ist höher als die anderen und oben offen. Die vier kürzeren sind oben durch Glashähne verschließbar; alle fünf Röhren sind mit Teilungen versehen, welche die Menge der in den Röhren enthaltenen Gase und die Höhenstände des Quecksilbers in ihnen abzulesen gestatten. Nahe über der Krümmung des hohen, oben offenen Rohres ist noch ein kurzes Röhrchen angesetzt, welches

[1]) Alle Gase haben ein sehr geringes spezifisches Gewicht im Vergleich zu flüssigen oder festen Körpern.

gleichfalls durch einen Hahn h_5 verschlossen werden kann. Das ganze System wird zunächst mit Quecksilber gefüllt, welches man in r eingießt; dann lässt man in jede der Röhren durch ihren oberen Hahn Gase eintreten, während man das verdrängte Quecksilber unten ablaufen lässt, und schließt dann die oberen Hähne. Auf diese Weise ist die erste Röhre mit Wasserstoff, die zweite mit Sauerstoff, die dritte mit atmosphärischer Luft, die vierte mit Grubengas gefüllt worden. Von diesen Gasen sind die beiden ersten Elemente; das dritte ein Gemenge, das vierte eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Kohlenstoff.

Wenn man in das offene Rohr noch mehr Quecksilber einfüllt, so steigt dasselbe in ihm schneller als in den geschlossenen; wenn man durch vorsichtiges Öffnen des Hahns h_5 das Quecksilber ablaufen lässt, sinkt dasselbe im offenen Rohr schneller als in den geschlossenen. Steht das Quecksilber in dem offenen Rohr gleich hoch wie in den geschlossenen Röhren, so stehen die in diesen eingeschlossenen Gase genau unter dem gleichen Druck wie die Luft im Zimmer. Diesen kann man am Barometer ablesen. Steht das Quecksilber im offnen Rohr höher, so ist der Druck in den eingeschlossenen Gasen höher, steht er niedriger, so ist der Druck in jenen niedriger als der Atmosphärendruck.[1]) Um den Druck, unter welchem die Gase stehen, zu finden, muss man zu dem Druck, welchen das Barometer anzeigt, die Differenz der Quecksilberhöhen im Rohr r und den anderen Röhren addieren oder subtrahieren.

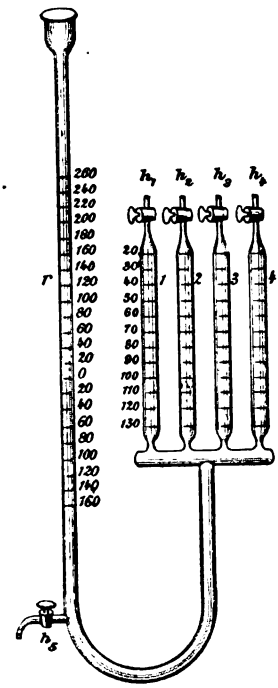


Fig. 5.

Apparat zur Demonstration des Verhaltens der Gase bei wechselndem Druck.

Die vier Röhren 1, 2, 3, 4 werden erst von r aus ganz mit Quecksilber, dann von ihren Hähnen aus mit 4 verschiedenen Gasen gefüllt, wobei das Quecksilber durch den Hahn h_5 abgelassen wird. Durch Eingießen von Quecksilber in r oder durch Ablassen aus h_5 kann man die Gase unter verschiedene Drucke bringen.

2. Wir wollen annehmen, der Atmosphärendruck betrage 740 mm, das Volum aller vier Gase sei je 100 cm³. Erhöht oder erniedrigt man den Druck auf die eben beschriebene Weise, so ändern sich die Volume aller Gase in genau gleicher Weise. Bei Erhöhung des Drucks nehmen sie ab, bei Erniedrigung des Drucks nehmen sie zu. Um das Volum von 100 cm³ auf 90 cm³ zu bringen,

2. Verhalten der Gase bei verschiedenen Drucken.

[1]) Über die Messung des Atmosphärendruckes durch das Barometer s. § 6.

müssen wir so viel Quecksilber hinzugießen, dass es in der offnen Röhre um 82 mm höher steht; bringen wir die Niveaudifferenz bis auf 185 mm, so sind die Volumina aller Gase auf 80 cm^3 reduziert. Lassen wir Quecksilber abfließen, bis er im offnen Rohr um 67 mm niedriger steht als in den geschlossenen, so ist das Volum der Gase = 110 cm^3. Wird der Höhenunterschied auf 124 mm gebracht, so ist das Volum = 120 cm^3.

Wir sehen also: 1. dass jedem Druck ein bestimmtes Volumen entspricht; 2. dass die Volumveränderungen bei verschiedenen Gasen gleich groß ausfallen.

Um die Beziehungen zwischen Druck und Volum der Gase noch genauer zu erkennen, stellen wir die Ergebnisse der Versuche zusammen:

Druck	740	740 + 82	740 + 185	740—67	740—124 mm
Volum	100	90	80	110	120 cm^3

oder übersichtlicher:

Druck	740	822	925	673	616 mm
Volum	100	90	80	110	120 cm^3

Multipliziert man die oberen Zahlen mit den darunter stehenden, so erhält man

74000 73980 74000 74030 73920

Diese Zahlen schwanken mit geringen Abweichungen um den Wert 74000 herum. Es liegt nahe anzunehmen, dass die Schwankungen von Versuchsfehlern herrühren. In der That haben sorgfältige, mit besseren Messungsmethoden ausgeführte Versuche größere Übereinstimmung der Zahlen ergeben. Nennen wir das Volum v, den Druck p, so können wir sagen

$$v\,p = \text{constans}$$

oder in Worten: Das Produkt aus Druck und Volum einer begrenzten Gasmenge ist konstant.

Man kann dieses Gesetz auch so ausdrücken: das Volum einer bestimmten Menge eines Gases ist umgekehrt proportional dem Druck, unter dem das Gas steht. Das Volum einer Gasmenge, welche bei dem Druck einer Atmosphäre einen Liter Raum einnimmt, wird bei 2 Atmosphären = $^1/_2$ Liter oder 500 cm^3, bei 10 Atmosphären = $^1/_{10}$ Liter oder 100 cm^3, bei einer halben Atmosphäre = 2 l oder 2000 cm^3 sein u. s. w. Dieses Gesetz ist schon i. J. 1662 von dem Engländer Robert Boyle gefunden und 1676 von dem französischen Geistlichen Mariotte wieder entdeckt worden. Man nennt es daher das Boyle'sche oder auch das Mariotte'sche Gesetz[1]).

[1]) Das Gesetz ist ein empirisches (vgl. Kap. 3, § 4). Erst weitere Untersuchungen können lehren, wie weit sein Geltungsbereich geht.

3. Bei den vorstehend beschriebenen Versuchen wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass die Temperatur der Gase während der Dauer der Versuche sich nicht geändert hat. Dass aber das Volum oder der Druck der Gase in hohem Maße von der Temperatur beeinflusst wird, lässt sich leicht zeigen. 3. Verhalten der Gase bei verschiedenen Temperaturen.

Berührt man eine der Röhren mit der Hand, wodurch das in ihr enthaltene Gas erwärmt wird, so sinkt das Quecksilber in dieser Röhre. Wenn man die Hand entfernt, gleicht sich die Störung wieder aus.

Um eine dauernde Erwärmung herbeiführen u. z. gleichmäßig für alle Röhren, ist folgende Einrichtung getroffen. Wie die Fig. 6 zeigt, geht der Stil des Armleuchters durch eine horizontale Metallplatte hindurch. Auf diese kann ein prismatischer, aus Glasplatten zusammengesetzter Kasten aufgesetzt werden. Derselbe ist unten und oben mit metallischen Fassungen versehen; in die untere sind zwei, in die obere eine Röhre seitlich eingefügt. Die unteren Röhren sind mit den höher aufgestellten Blechgefäßen k und w verbunden; das eine enthält kaltes Wasser; das Wasser des anderen wird durch eine Gasflamme erwärmt. Öffnet man einen der Hähne, welche diese Röhren geschlossen halten, so fließt warmes oder kaltes Wasser in den Kasten, umspült die Gasröhren und fließt schließlich oben ab. Die Röhren und damit die in ihnen ent-

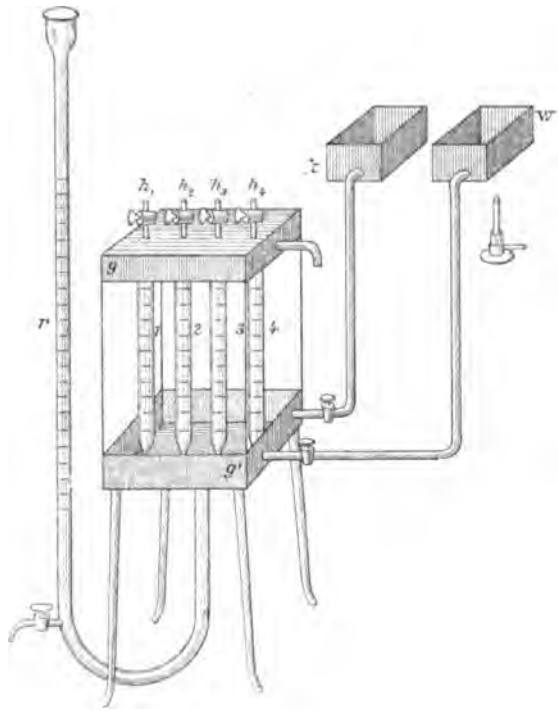


Fig. 6.

Apparat zur Demonstration des Verhaltens der Gase bei wechselnder Temperatur.

Der Apparat ist gleich dem in Fig. 5, nur sind die Gasröhren von einem parallelepipedischen Glastrog gg' umgeben, durch dessen untere Fassung 2, durch dessen obere eine Röhre hindurchgehen. Durch die ersteren kann man aus den Wannen k und w kaltes oder warmes Wasser in den Glastrog fließen lassen. Die 4 Gase werden dadurch auf verschiedene, aber für alle gleiche Temperaturen gebracht.

haltenen Gase können somit erwärmt oder abgekühlt werden u. z. alle gleichmäßig.

Erwärmt man zunächst die Gase durch Einströmenlassen warmen Wassers, so dehnen sie sich aus, wobei sie das Quecksilber in der offenen Röhre heben. Wenn die Temperatur auf 28° gestiegen ist, mäßigt man die Strömung des warmen Wassers und sorgt durch Regulierung der Gasflamme dafür, dass diese Temperatur eine Zeit lang konstant erhalten wird. Durch Ablassen von Quecksilber bringt man dasselbe in den geschlossenen Röhren und in dem offenen Rohr wieder auf gleiche Höhe. Der Druck ist dann für alle Gase wieder gleich dem Atmosphärendruck. Es zeigt sich, dass die Volumzunahme in allen vier Röhren ganz die gleiche ist. Bringt man durch stärkere Heizung die Temperatur auf 38°, so tritt wieder Ausdehnung ein, und wiederum nehmen die Gase, nachdem das Quecksilber innen und außen auf gleiche Höhe gebracht ist, alle dasselbe Volum an. Lässt man jetzt durch das bisher verschlossene Rohr kaltes Wasser zuströmen, so kann man es dahin bringen, dass die Temperatur wieder 28° ist und auf dieser Höhe einige Zeit erhalten bleibt. Die Gase haben sich zusammengezogen, das Quecksilber ist in den geschlossenen Röhren gestiegen, im offnen gefallen. Bringt man durch Eingießen von Quecksilber in letzteres das Niveau auf die gleiche Höhe wie in den geschlossenen Röhren, so findet man, dass die Volumina jetzt genau übereinstimmen mit denen, welche man zuvor bei derselben Temperatur beobachtet hatte. Bringt man die Temperatur wieder auf 18°, so findet man das Gleiche.

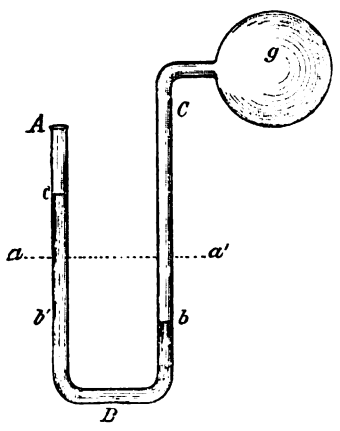


Fig. 7.
Druckzunahme durch Erwärmung.
Durch Anlegen der Hand an die Glaskugel *g* wird die in ihr enthaltene Luft erwärmt. Die Flüssigkeit, welche vorher in den Schenkeln des U-förmigen Rohrs *A B C* auf der Höhe *a a'* stand, sinkt jetzt im Schenkel *B C* bis *b* und steigt im Schenkel *B A* bis *c*.

Wir sehen also: 1. dass jeder Temperatur ein bestimmtes Volumen entspricht; 2. dass die Volumveränderungen bei verschiedenen Gasen gleich groß ausfallen.

Mit steigender Temperatur nimmt also das Volum der Gase zu, mit steigendem Druck nimmt es ab. Wenn wir daher eine bestimmte Gasmenge erwärmen, aber ihre Ausdehnung verhindern, so muss der Druck steigen. Das lässt sich durch den Versuch leicht zeigen.

In einer Flasche von etwa 1 l Raum-

inhalt ist Luft enthalten. Die Flasche hängt mit einem *U*-förmig gebogenen, teilweise mit Flüssigkeit gefüllten Rohr zusammen, welches als Manometer[1]) dient. Wenn man die Luft erwärmt, steigt die Flüssigkeit im offenen Schenkel des Manometers und zeigt damit an, dass der Druck in der Flasche größer geworden ist.

Ganz konstant ist hierbei das Volum der Luft freilich nicht geblieben; es hat um den Raum zugenommen, um welchen die Manometerflüssigkeit in dem mit der Flasche zusammenhängenden Schenkel des *U*-rohrs gefallen ist. Da das Manometerrohr eng ist, so ist diese Volumszunahme im Verhältnis zum gesamten Luftvolum nur gering, so dass wir sie vernachlässigen können. Wäre das Manometerrohr nicht eng, so wäre sowohl Veränderung des Volums wie Veränderung des Drucks eingetreten; man müsste bei Berechnung des Versuchs auf beide Änderungen Rücksicht nehmen. Bei der praktischen Ausführung von Versuchen kommt es sehr oft vor, dass man die theoretisch geforderten Bedingungen des Versuchs absolut genau gar nicht herstellen kann. Wenn der Fehler im Vergleich zu dem, was beobachtet werden soll, sehr klein ist, oder wenn man imstande ist, die Größe des Fehlers zu bestimmen, so sind die Ergebnisse trotzdem brauchbar. Es kommt nicht auf die absolute Größe des Fehlers an, sondern auf die relative. Wenn ein Gewicht von 10 kg zu bestimmen ist, so würde bei einem Fehler von 1 g das Resultat um $^1/_{10000}$ zu groß oder zu klein ausfallen. Sollen aber 10 g gewogen werden, so würde ein gleicher Wägungsfehler von 1 g schon $^1/_{10}$ des ganzen zu bestimmenden Wertes sein. In Wahrheit würde der Fehler im letzteren Falle 1000 mal größer sein als im ersteren. Um ebenso genau zu wägen, müssten wir im letzteren Falle sicher sein, dass der Fehler höchstens 1 mg betragen kann.

4. Absolute Temperatur.

4. Wenn man bei den Versuchen über den Zusammenhang von Volum und Temperatur die Volume für verschiedene Temperaturen (18°, 28°, 38° u. s. w.) misst und dafür sorgt, dass die Messung stets bei demselben Druck vorgenommen wird, so findet man, dass gleichen Temperaturdifferenzen auch gleiche Volumveränderungen entsprechen. Genauere Versuche haben gezeigt, dass für jeden Grad der Celsius'schen Temperaturskala das Volum eines Gases sich um $^1/_{273}$ desjenigen Volums ändert, welches es bei 0° hat. Um aber die Gesetzmäßigkeit, welche hiermit angedeutet ist, deutlicher hervortreten zu lassen, wollen wir uns vorstellen, wir hätten einen schmalen, hohen Cylinder (*r r'* Fig. 8 auf S. 120), dessen Querschnitt überall gleich ist, und wir grenzten in diesem einen Luftraum durch einen leicht beweglichen, aber luftdicht schließenden Stempel *q* ab [2]).

---

[1]) Über die Theorie dieses Manometers vgl. § 6.

[2]) Einen solchen Stempel können wir uns, wenn der Cylinder sehr eng ist, hergestellt denken durch einen Quecksilberfaden. Machen wir diesen Faden

Wir bringen die Luft in diesem Cylinder, indem wir ihn ganz mit schmelzendem Eis umgeben, auf 0^0 und markieren die obere Grenze der Luft. Wir bringen die Temperatur der Luft im Cylinder auf die des siedenden Wassers und bezeichnen die Stellung des Stempels mit 100. Wir teilen die Entfernung von 0 bis 100 in 100 gleiche Teile und nennen jeden solchen Teil einen Grad. Wir konstruieren auf diese Weise ein Thermometer und zwar ein Lufthermometer. Die Skala, nach welcher wir es einteilen, ist die sogenannte Celsius'sche. Diese Skala setzen wir in gleicher Weise auch unterhalb des Nullpunktes fort und bezeichnen die Grade (zum Unterschied von denen oberhalb des Nullpunktes) als negative. Diese Teilung ist in der Figur links angeschrieben.

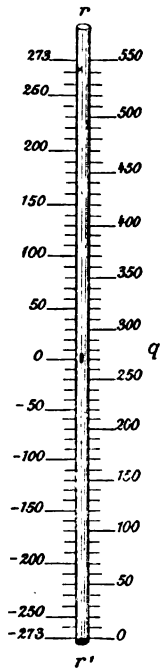


Fig. 8.

Lufthermometer und absolute Temperaturskala.

In der cylindrischen Röhre $r\,r'$ ist durch den kleinen Quecksilberfaden q eine bestimmte Luftmenge abgesperrt. Bei der Temperatur des schmelzenden Eises steht der Faden in der Mitte der Röhre. Auf der linken Seite sind die Temperaturgrade nach der Skala von Celsius, auf der rechten nach der absoluten Skala angegeben. Näheres s. im Text.

Wir würden, wenn wir dies ausführen, finden, dass unterhalb des Nullpunktes bis zum Boden des Cylinders 273 Teilstriche Platz haben. Jeder dieser Teilstriche giebt an, wie groß das Volum der abgegrenzten Luftmenge bei der durch den Teilstrich benannten Temperatur sein würde. Nennen wir das Volum bei 0^0 v, so würde bei der Temperatur $+ 50^0$ das Volum sein $= v + \frac{50}{273} v$; bei der Temperatur 100 hätten wir das Volum $v + \frac{100}{273} v$; bei $-$ 100 das Volum $v - \frac{100}{273} v$ u. s. f.

Die Einteilung nach Celsiusgraden ist eine willkürliche, durch keine in der Natur der Sache gelegenen Gründe bedingte. Man hat sie allgemein angenommen, weil die festen Punkte 0^0 und 100^0 (Eispunkt und Siedepunkt) leicht und sicher bestimmt werden können. Wir können aber aus dieser Skala leicht eine andere ableiten, welche theoretisch besser begründet ist und gewisse Vorteile bietet. Dieselbe ist an der rechten Seite der Figur angeschrieben.

Schreiben wir nämlich an den Boden unseres Cylinders 0 und zählen von dort nach aufwärts, so kommt an die Stelle von — 100 die Zahl 173, an die Stelle von 0 die Zahl 273, an die Stelle von + 100 die Zahl 373 u. s. f. Diese Skala, bei der

20 mm lang und ist, wie wir annehmen, der Barometerstand 740 mm, so steht die abgesperrte Luft unter dem Normaldruck von 760 mm.

es keine negativen Grade giebt, weil der Nullpunkt schon an der tiefsten Stelle liegt, nennt man die absolute Temperaturskala. Man verwandelt Angaben der Temperatur nach Celsius in Angaben der absoluten Skala, indem man zu der Zahl der Celsiusgrade die Zahl 273 addiert[1]).

Vergleichen wir die Luftvolumina mit den Temperaturen nach dieser Skala, so ergiebt sich ein sehr einfaches Gesetz. Bei der Temperatur 273 ist das Volum $= v$, bei der Temperatur 323 $(273 + 50)$ ist das Volum $= v + \frac{50}{273} v = v \left(1 + \frac{50}{273}\right) = v \frac{323}{273}$; bei der Temperatur 373 ist das Volum $= v + \frac{100}{273} v = v \left(1 + \frac{100}{273}\right)$ $= \frac{373}{273} v$ u. s. f.

Mit anderen Worten: Das Volum einer begrenzten Gasmenge bei gleichbleibendem Druck ist direkt proportional der absoluten Temperatur.

Aus den bisherigen Auseinandersetzungen lässt sich auch ableiten, wie sich ein Gas verhalten wird, wenn es erwärmt wird, während es in einem nicht ausdehnbaren Raum eingeschlossen ist. Denken wir uns eine Gasmenge vom Volum V, dem Druck p und der (absoluten) Temperatur T auf die Temperatur $2\,T$ gebracht; sie würde, wenn der Druck ungeändert bliebe, das Volum $2\,V$ einnehmen. Um dieses wieder auf das Volum V zu bringen, müssten wir den Druck $= 2p$ machen. Hieraus folgt:

Der Druck einer begrenzten Gasmenge bei gleichbleibendem Volum ist direkt proportional der absoluten Temperatur.

Das gesetzmäßige Verhalten der Gasvolumina in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur wurde von Gay-Lussac und von Dalton gleichzeitig (1802) aufgefunden, weshalb man diesen Satz das Gay-Lussac'sche oder Dalton'sche Gesetz nennt. Fassen wir seinen Inhalt mit dem des Boyle'schen oder Mariotte'schen Gesetzes zusammen, so erhalten wir folgenden Satz, welcher alles enthält, was über Volum und Druck der Gase auszusagen ist:

Das Volum einer bestimmten Gasmenge ist direkt proportional seiner absoluten Temperatur und umgekehrt proportional dem Druck, unter dem es steht.[2])

---

[1]) Sämtliche Temperaturangaben in diesem Buche beziehen sich entweder auf die Celsius-Skala oder auf die absolute Skala; wo die letztere gemeint ist, wird es immer ausdrücklich gesagt werden. Zur Bezeichnung von Temperaturen nach der Celsius-Skala wird gelegentlich der Buchstabe t, zur Bezeichnung nach der absoluten Skala der Buchstabe T gebraucht werden.

[2]) Bei der Ausführung physikalischer, chemischer und physiologischer Versuche kommt es sehr häufig vor, dass man Gasvolumina zu messen hat. Da diese Messungen bei verschiedenen Temperaturen und Drucken vorgenommen werden, so würden sie nicht unmittelbar vergleichbar sein. Man pflegt daher

5. Verhalten der Gasmolekeln.

5. Wir haben gesehen, dass das, was wir Wärme nennen, aufgefasst werden kann als eine Art von molekularer Bewegung. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto größer muss die Energie dieser Bewegung sein. Auf Grund der Annahme, dass die Molekeln der Gase verhältnismäßig sehr weit voneinander entfernt sind, ist die Vorstellung berechtigt, dass die Molekeln lange Wege in geradliniger Richtung und mit erheblicher Geschwindigkeit zurücklegen, bis sie entweder gegen die Wandungen des Raumes stoßen, in welchem das Gas eingeschlossen ist, oder bis zwei Molekeln auf ihren Wegen gegeneinander prallen. Sie werden dann wie elastische Körper mit veränderter Richtung ihre Bewegung fortsetzen.[1]) Die Geschwindigkeit der einzelnen Molekeln werden vielleicht nicht alle gleich sein. Aber wir können für sie eine mittlere oder Durchschnittsgeschwindigkeit substituieren. Je höher die Temperatur, desto größer ist diese mittlere Geschwindigkeit, desto größer also auch die Energie, welche die Molekeln besitzen.

Stellen wir uns eine bestimmte Gasmenge vor, eingeschlossen in einen Raum, sagen wir einen Würfel von 1 dm Seite, also von 1 l Rauminhalt. Diese Gasmenge besteht aus einer unbekannten, aber doch bestimmten Anzahl von Molekeln. Wir wollen diese Zahl n nennen. Jede dieser Molekeln kann einen Weg von 1 dm zurücklegen, ehe sie mit der ihr eigenen Geschwindigkeit auf die Wand trifft. Es werden in einem bestimmten Zeitabschnitt, etwa in 1 sec., auf jede Wand eine bestimmte Anzahl von Molekeln treffen. Jede Molekel hat eine sehr kleine aber bestimmte Masse m und eine mittlere Geschwindigkeit v; ihre Energie wird also $= {}^1/_2\, m\, v^2$ sein. Nehmen wir an, in dem von uns betrachteten Zeitteilchen träfen auf jeden Quadratcentimeter der 6 Wandflächen unseres Würfels a Molekeln, so würde die Gesamtwirkung auf jedes dieser Flächenstücke $= a\, {}^1/_2\, m\, v^2$ sein.

6. Messung des Gasdrucks.

6. Stellen wir uns vor, der mit Gas gefüllte Würfel sei ganz von luftleerem Raum umgeben und wir schnitten aus einer der Wandflächen ein Loch von 1 cm² Fläche heraus. Die auf diese

die gemessenen Volumina umzurechnen auf dasjenige Volum, welches dem Gas zukommen würde bei einer bestimmten Temperatur (0°) und bei einem bestimmten Druck (760 mm Quecksilber, dem mittleren Druck der Atmosphäre im Niveau des Meeres). Man nennt dies das reduzierte Volum. Die Art der Umrechnung ergiebt sich aus den oben entwickelten Gesetzen.

[1]) Ein an einem warmen Sommertage in der Luft schwebender Mückenschwarm bietet ein gutes Beispiel für den Zustand, in welchem man sich nach jener Vorstellung die Molekeln einer eingeschlossenen Gasmenge zu denken hat. Eine Säule von etwa einem halben Meter im Durchmesser und oft mehreren Metern Höhe steht unverrückt an einer Stelle; aber innerhalb dieser Säule ist alles in lebhaftester Bewegung. Die einzelnen Mücken „tanzen", d. h. sie schießen in Zickzackbewegungen hin und her.

Fläche treffenden Molekeln könnten dann ungehindert hinausfliegen. Nach einer gewissen Zeit müssten alle n Molekeln an das Loch gekommen und hinausgeflogen sein; der Würfel würde dann leer sein.

Wir können den Austritt der Molekeln verhindern, indem wir das Loch wieder verschließen. Wenn wir den Verschluss durch ein sehr leichtes Plättchen bewirken, so werden die von innen her gegen das Plättchen anprallenden Molekeln dasselbe wegzudrängen suchen. Um dies zu verhindern, müsste das Plättchen mit einem gewissen Druck von außen gegen das Loch gepresst werden. Der Druck kann durch ein Gewicht hergestellt werden, und wir können durch Versuche finden, wie groß das Gewicht sein muss, welches eben ausreicht, das Entweichen des Gases zu verhindern. Nennen wir es p. Dann ist $p = a\,{}^1/_2\, m\, v^2$. Wir messen also auf diese Weise die Summe der Energieen aller in der Zeiteinheit gegen das Plättchen treffenden Molekeln.

In der Gleichung $p = a\,{}^1/_2\, m\, v^2$ stehen auf der rechten Seite lauter unbekannte Größen. Nur ihre Gesamtwirkung, den Druck, den sie ausüben, können wir messen. Die Zahl a, die Anzahl der die Fläche treffenden Molekeln, muss mit der Größe der Fläche zunehmen. Hätten wir das Loch statt 1 cm², 2 cm² groß gemacht, so würden auf die doppelte Fläche in der Zeiteinheit doppelt so viel Molekeln treffen: wir müssten den Druck von außen doppelt so groß machen, um dem Druck des Gases entgegen zu wirken.

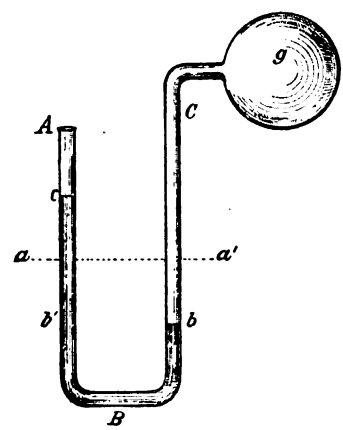


Fig. 9.
Manometer.
Wenn der Druck des Gases in g steigt, so sinkt die Flüssigkeit im Schenkel BC und steigt im Schenkel BA. Die Differenz der Flüssigkeitshöhen $= c\,b$ ist das Maß für den Überschuss des Druckes in g über den Atmosphärendruck.

Das, was wir Druck des Gases nennen, kann also gemessen werden durch ein Gewicht unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Fläche. Es wird dadurch verständlich, was es heißt, wenn wir sagen, der Druck der Atmosphäre ist gleich 1,033 kg auf den cm².[1])

Meistens messen wir den Druck auf andere Weise. Wenn wir die beiderseits offene U-förmige Röhre ABC (Fig. 9)

[1]) Soviel beträgt der mittlere Atmosphärendruck am Meeresstrande; mit der Erhebung über diesen nimmt er in gesetzmäßiger Weise ab. Wo es nicht auf sehr große Genauigkeit ankommt, rechnet man gewöhnlich mit der abgerundeten Zahl 1 kg.

teilweise mit einer Flüssigkeit füllen, so stellt sich diese nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren in beiden Schenkeln gleich hoch ein. Auf den Oberflächen der Flüssigkeit lastet jederseits der Atmosphärendruck; da er auf beiden Seiten der gleiche ist, kann er das vorhandene Gleichgewicht der Flüssigkeit nicht stören. Hierin wird auch nichts geändert wenn der Schenkel *BC* mit dem Gefäß *g* verbunden ist, solange die Luft in diesem unter demselben Druck steht. Wird aber der Gasdruck in diesem Gefäß gesteigert, so sinkt die Flüssigkeit im Schenkel *BC* etwa bis *b* und steigt im offenen Schenkel *BA* bis *c*. Legen wir durch *b* eine Horizontale *bb'*, so ist die Höhe der Flüssigkeitssäule *b'c* ein Maß für den Überdruck, um welchen der Gasdruck in *g* den atmosphärischen Druck, der nach wie vor auf die Flüssigkeit im offenen Schenkel wirkt, übersteigt. Eine solche Vorrichtung nennen wir ein (Flüssigkeits-) Manometer.

Auf den Querschnitt brauchen wir in diesem Falle keine Rücksicht zu nehmen, denn bei *b'*, wo der Druck der Flüssigkeitssäule *b'c* wirkt, ist der Querschnitt dieser Flüssigkeitssäule genau gleich demjenigen Querschnitt, auf welchem der Gasdruck (unter Vermittelung der Flüssigkeit *bb'*) in entgegengesetzter Richtung wirkt. Dagegen müssen wir das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, mit welcher das Manometer gefüllt ist, berücksichtigen.

Angenommen, dieser Querschnitt wäre gerade 1 cm^2, die Flüssigkeit Quecksilber und die Höhe $b'c = 760$ mm. Das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist = 13,59. Eine Säule Quecksilber von 760 mm Höhe und 1 cm^2 Querschnitt hat ein Volum von 76 cm^3 und wiegt daher $76 \times 13{,}59 = 1032{,}84$ g oder rund 1.033 kg, welche Größe wir als den Druck einer Atmosphäre auf 1 cm^2 kennen gelernt haben. Daher stellt sich die Quecksilbersäule eines Barometers, auf welche an der einen Seite der Atmosphärendruck wirkt, während auf der anderen Seite ein luftleerer Raum vorhanden ist, im Niveau des Meeres auf 760 mm ein. Der Atmosphärendruck ist also = 760 mm, ein halber Atmosphärendruck = 380 mm, $^1/_{10}$ Atmosphärendruck = 76 mm Quecksilber (abgekürzt bezeichnet durch die Buchstaben hg).

Sind die zu messenden Drucke sehr klein, dann würden die geringen Höhendifferenzen des Quecksilbers schwer zu messen sein. Man thut dann besser, das Manometer mit einer Flüssigkeit von geringerem spezifischen Gewicht zu füllen. Benutzt man Wasser, (abgekürzt bezeichnet durch aq) so fallen alle Höhen 13,59mal größer aus als bei Quecksilber, 1 mm hg = 13,59 mm aq. Der Atmosphärendruck (= 760 mm hg) entspricht einer Wassersäule von mehr als 10 m Höhe (genauer 10,328); $^1/_{10000}$ Atmosphäre giebt noch 1 mm Höhenunterschied, ist also noch gut messbar.

7. Kinetische Gastheorie.

7. Kehren wir zur Betrachtung unserer in einem Raum abgesperrten Gasmenge zurück. Wir haben angenommen, dass in dieser n Molekeln vorhanden seien, und dass in jeder Sekunde a solche Molekeln auf die Fläche von 1 cm^2 der Wand treffen. Pressen wir das Gas auf die Hälfte seines Volums zusammen, so wird die Zahl der Molekeln n und, bei gleichbleibender Temperatur, auch ihre Geschwindigkeit nicht verändert; aber jede Molekel wird jetzt schon auf die Wand stoßen, wenn sie nur die Hälfte des Weges zurückgelegt hat. Es werden daher in der gleichen Zeit doppelt so viele Molekeln gegen die Wand stoßen. Ihre Wirkung d. h. der Druck muss also doppelt so groß sein wie zuvor.

Ändert sich die Temperatur einer begrenzten Gasmenge, so bleibt die Zahl der Molekeln und der Weg, den sie zurücklegen, ungeändert, dagegen wird ihre Geschwindigkeit eine andere. Die einfachste Annahme, die wir machen können, ist, dass die Energie der Molekularbewegung proportional der absoluten Temperatur sei. Wir haben gefunden, dass bei konstantem Volum der Druck, bei konstantem Druck das Volum proportional der absoluten Temperatur wachsen; das entspricht der eben gemachten Annahme. Hieraus dürfen wir also schließen, dass die Vorstellung, welche wir uns von dem molekularen Zustand der Gase gebildet haben, eine zutreffende ist. Wir haben uns also zu denken, dass die Gase aus getrennten Molekeln bestehen, welche in fortwährender Bewegung befindlich sind, und dass die Geschwindigkeiten der Molekeln proportional mit den absoluten Temperaturen wachsen. Man nennt diese Vorstellung die kinetische Theorie der Gase.

8. Diffusion der Gase.

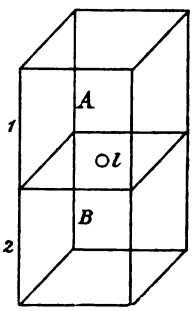


Fig. 10.

Freie Gasdiffusion. Die Würfel *1* und *2* sind mit zwei verschiedenen Gasen *A* und *B* gefüllt. In der gemeinschaftlichen Scheidewand der Würfel ist ein Loch *l*. Die Molekeln des Gases *A*, welche auf dieses Loch treffen, können in den Würfel *2* eindringen; ebenso die Molekeln des Gases *B* in den Würfel *1*. Es kommt deshalb eine vollständige Mischung der beiden Gase zu stande.

8. Wir haben oben, um den Begriff des Gasdrucks zu entwickeln, den Fall behandelt, dass ein in einem würfelförmigen Raum eingeschlossenes Gas durch ein Loch in einer der Wände des Würfels mit einem luftleeren Raume kommuniziert. Wir wollen jetzt untersuchen, was geschehen wird, wenn zwei verschiedene Gase, von denen jedes in einem solchen Würfel eingeschlossen ist, durch ein Loch in der gemeinschaftlichen Scheidewand miteinander in Berührung kommen.

Nennen wir die beiden Gase A und B, die aneinanderstoßenden Würfel *1* und *2*; l sei das Loch in der gemeinsamen Scheidewand.

In jeder Zeiteinheit kommen *a* Molekeln des im Würfel *1* enthaltenen Gases mit einer von der Temperatur abhängenden Geschwindigkeit an das Loch *l*. Einige von ihnen werden auf Molekeln des Gases *B* stoßen und zurückgeschleudert werden. Die Mehrzahl aber wird zwischen die Molekeln des Gases *B* eindringen, welche, wie wir annehmen, sehr weit voneinander entfernt sind. Ganz dasselbe gilt von den Molekeln des Gases *B*. Es wird also eine Mischung der beiden Gase eintreten; dieser Vorgang wird nicht eher beendet sein, als bis beide Gase in beiden Würfeln ganz gleichmäßig gemischt sein werden. Von diesem Zeitpunkte an werden ebensoviel Molekeln des Gases *A* von *1* nach *2* wie umgekehrt gelangen, und dasselbe wird mit den Molekeln des Gases *B* der Fall sein. Der Zustand der gleichmäßigen Mischung muss also fortan dauernd erhalten bleiben.

Man nennt den Vorgang, welchen wir zunächst nur theoretisch aus unseren Vorstellungen über Gase abgeleitet haben, Diffusion oder speziell, um ihn von anderen zu unterscheiden, freie Gasdiffusion. Um ihn zu demonstrieren, kann man folgenden Versuch anstellen.

Man füllt mehrere mit breiten, abgeschliffenen Rändern versehene Glascylinder, welche man durch passende Glasplatten verschließen kann, mit zwei verschiedenen Gasen, z. B. Kohlendioxyd und Wasserstoff Zwar sind diese Gase für das Auge nicht unterscheidbar, denn sie sind beide vollkommen farblos. Wenn man aber in einen mit Kohlendioxyd gefüllten Cylinder einen brennenden Holzspan bringt, so erlischt dieser sofort; macht man denselben Versuch mit Wasserstoff, so entzündet sich das Gas und brennt mit schwach leuchtender, blauer Flamme. Gießt man in einen mit Kohlendioxyd gefüllten Cylinder etwas klares Kalk- oder Barytwasser, so wird dasselbe sofort stark getrübt. Taucht man die nach abwärts gerichtete Mündung eines solchen Cylinders in Quecksilber, entfernt die Glasplatte und lässt mittels einer gekrümmten Pipette eine Lösung von Kaliumhydroxyd zu dem Gas treten, so entsteht aus dem Kohlendioxyd und dem Kaliumhydroxyd eine Verbindung, welche gelöst bleibt; das Gas verschwindet, das Quecksilber steigt in dem Cylinder in die Höhe und füllt ihn vollkommen. Bei dem Wasserstoff fallen die beiden letzten Proben durchaus negativ aus.

Diese Eigenschaften genügen, die beiden Gase sicher voneinander zu unterscheiden. Nun nehme man einen mit Wasserstoff gefüllten Cylinder, kehre ihn um und stelle ihn auf einen mit Kohlendioxyd gefüllten, dann ziehe man die beiden, die Cylinder verschließenden Glasplatten fort und drücke die Mündungen der Cylinder aneinander, so dass die breiten Ränder einen sicheren Abschluss nach außen bewirken.

Nach Verlauf einiger Zeit trenne man die Cylinder wieder, nachdem

man vorsichtig die Verschlussplatten zwischen sie geschoben hat, und prüfe ihren Inhalt. In beiden wird man die Anwesenheit von Kohlendioxyd und von Wasserstoff nachweisen können. Kalkwasser wird getrübt werden. Durch eine Lösung von Kaliumhydroxyd wird ein Teil des Inhalts gebunden werden. Was übrig bleibt, zeigt die Eigenschaft des Wasserstoffes; es brennt mit blauer Flamme.

Jedes Gas ist also in den Raum des anderen eingedrungen. Wenn wir lange genug gewartet haben, ehe wir die Gefäße voneinander trennten, können wir auch nachweisen, dass die Mischung in den beiden Cylindern eine ganz gleichmäßige geworden ist. Waren beide Cylinder gleich groß, so wird schließlich jeder von ihnen gleiche Teile Kohlendioxyd und Wasserstoff enthalten. Es mag schließlich noch darauf hingewiesen werden, dass Wasserstoff ein viel geringeres spezifisches Gewicht hat als Kohlendioxyd. In unserem Versuch befand sich das leichtere Gas im oberen Cylinder. Trotzdem ist es in den unteren hinunter- und das schwerere aus diesem hinaufgestiegen. Aus den Vorstellungen der kinetischen Gastheorie lassen sich diese Erscheinungen leicht ableiten. Es folgt aus ihr auch, dass, wie in unserem Versuch zwei, ebenso auch drei oder mehr Gase bei freier Diffusion sich vollkommen gleichmäßig miteinander mischen müssen.

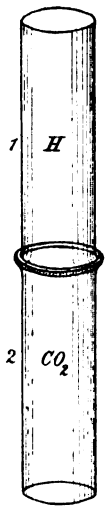


Fig. 11.
Freie Gasdiffusion.
Der Glascylinder 1 ist mit reinem Wasserstoff, der Cylinder 2 mit reinem Kohlendioxyd gefüllt worden. Nachdem sie verschlossen übereinander gestellt und die Verschlussplatten weggenommen worden sind, dringen die beiden Gase in einander ein, bis sie vollkommen gleichmäßig in beiden Cylindern gemischt sind.

9. Partialdruck und Gesamtdruck in Gasmengen.

9. Die Betrachtung eines Gasgemenges giebt noch zu einigen Bemerkungen Anlass. In einer der Röhren des Apparats Fig. 5 haben wir 100 cm^3 atmosphärischer Luft. Dieselbe hat sich, wie wir gesehen haben, vollständig ebenso verhalten wie die anderen Gase. Diese Luft besteht aus rund 4 Raumteilen Stickstoff und 1 Raumteil Sauerstoff.[1]) Der Druck ist gleich dem augenblicklichen Atmosphärendruck, 740 mm hg, die Temperatur 18°. Wenn wir allen Sauerstoff aus diesem Gemenge fortnehmen,[2]) so nimmt das Volum ab und zugleich sinkt der Druck. Bringen wir den jetzt allein vorhandenen Stickstoff auf Atmosphärendruck, so wird sich das Volum auf

[1]) In Wahrheit sind es nahezu 21 % Sauerstoff, ungefähr 79 % Stickstoff und sehr geringe Mengen anderer Gase. Um die Darstellung zu vereinfachen, benutzen wir jene abgerundeten Zahlen.

[2]) Wir können das, indem wir Phosphor in den Raum bringen, welcher mit dem Sauerstoff eine feste chemische Verbindung bildet.

80 cm^3, also $^4/_5$ von 100, einstellen. Vermindern wir dagegen den Druck so weit, dass der Stickstoff einen Raum von 100 cm^3 einnimmt, so würde ein mit dem Raum verbundenes Manometer zeigen, dass der Druck in ihm nur noch 592 mm *hg*, also $^4/_5$ des augenblicklichen Atmosphärendrucks beträgt.

Nun waren aber in dem ursprünglichen Quantum atmosphärischer Luft die beiden Gase, überall gleichmäßig gemischt, in dem ganzen Raume verteilt. Wer etwa daran zweifeln wollte, der brauchte nur beliebige Bruchteile der Luft getrennt zu untersuchen; er würde sie immer in demselben Verhältnis aus den beiden Gasen zusammengesetzt finden. Es waren mithin die 80 cm^3 Stickstoff auf 100 cm^3 ausgedehnt und die 20 cm^3 Sauerstoff ebenso. Dann konnte aber nach dem BOYLE'schen Gesetz auch in dem ursprünglichen Gemenge der Stickstoff nur einen Druck von 592 und der Sauerstoff nur einen Druck von 148 mm hg ausüben. Diesen Anteil eines jeden Gases am Gesamtdruck nennt man den Partialdruck des betreffenden Gases. Der Gesamtdruck eines Gasgemenges ist die Summe der Partialdrucke seiner Bestandteile. Kennt man die prozentische Zusammensetzung eines Gasgemenges, so findet man die Partialdrucke der einzelnen Bestandteile, indem man den Gesamtdruck auf diese nach Verhältnis der Zusammensetzung verteilt. Wir sehen also, dass der aus § 2 und 3 folgende Satz, dass alle Gase bei gleichem Volum und gleicher Temperatur gleiche Drucke ausüben, auch für die Bestandteile eines Gasgemenges gilt.

10. Avogadro's Hypothese.

10. In § 6 haben wir gesehen, dass der Gasdruck als Wirkung des Anpralls der Gasmolekeln auf die das Gas einschließende Wand angesehen werden kann. In der dort aufgestellten Formel

$$p = a \; {}^1/_2 m v^2$$

bedeutet a die Anzahl der in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit der Wand treffenden Molekeln, $^1/_2 m v^2$ die jeder Molekel zukommende Bewegungsenergie. Nun muss m, die Masse oder das Gewicht einer einzelnen Molekel offenbar von der chemischen Beschaffenheit der Molekeln abhängen, muss also für jedes Gas einen anderen Wert haben (Vgl. Kap. 4 § 13). Wie groß die Geschwindigkeit der Molekeln ist, wissen wir nicht; alles, was wir von ihr aussagen können, ist nur, dass sie proportional mit der absoluten Temperatur wächst (vgl. § 7). Sind m_1 und m_2 die Molekulargewichte zweier verschiedener Gase, v_1 und v_2 die den Molekeln bei einer bestimmten Temperatur zukommenden Geschwindigkeiten, also $^1/_2 m_1 v_1^2$ und $^1/_2 m_2 v^2$ die denselben innewohnenden Bewegungsenergieen, dann können wir die Hypothese aufstellen, dass

$$^1/_2 m_1 v_1^2 = {}^1/_2 m_2 v_2^2$$

sei, d. h. mit Worten, wir nehmen an, dass die Bewegungsenergie

der Molekeln aller Gase bei einer und derselben Temperatur stets dieselbe sei. Dann muss aber, wegen der Gleichmäßigkeit des Verhaltens aller Gase, auch a immer denselben Wert haben. Wir kommen demnach zu dem Satz:

Gleiche Volumina beliebiger Gase, gemessen bei derselben Temperatur und demselben Druck, enthalten die gleiche Anzahl von Molekeln.

Es ist dies die berühmte, von dem Neapolitaner AVOGADRO 1811 ausgesprochene Hypothese, welche für die theoretische Chemie große Bedeutung gewonnen hat, wovon wir noch ausführlich zu sprechen haben werden. Sie macht die auffallende Erscheinung des gleichen Verhaltens aller Gase gegen Volum- und Temperaturveränderungen verständlich. Die Übereinstimmung aller aus ihr gezogenen Folgerungen mit den Thatsachen, welche wir in Kap. 8 noch kennen lernen werden, verleiht ihr einen hohen Grad von Zuverlässigkeit. Dadurch ist sie auch eine der besten Stützen der kinetischen Gastheorie geworden.

Die AVOGADRO'sche Hypothese stützt sich in unserer obigen Darstellung auf die Annahme, dass die Bewegungsenergie der Molekeln nur von der absoluten Temperatur abhängig sei, also bei allen Gasen die gleiche sei.[1]) Aus der Gleichung

$$^1/_2 m_1 \; v_1{}^2 = {}^1/_2 m_2 \; v_2{}^2$$

können wir unmittelbar die andere ableiten,

$$m_1 : m_2 = v_2{}^2 : v_1{}^2$$

d. h. die Molekulargewichte zweier Gase verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Geschwindigkeiten ihrer Molekeln (bei gleicher Temperatur.)

Es fragt sich, ob wir irgend etwas über die Geschwindigkeiten festzustellen imstande sind.

Lässt man Gase unter konstantem Druck aus einer sehr engen Öffnung ausströmen, so findet man, dass die Ausströmungsgeschwindigkeiten umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten der Gase sind. Enthalten nach AVOGADRO's Hypothese gleiche Volume verschiedener Gase die gleiche Anzahl von Molekeln, dann müssen sich die spezifischen Gewichte wie die Molekulargewichte verhalten. Das Versuchsergebnis im Zusammenhange mit der Hypothese gewährt also ein Mittel, die Molekulargewichte von Gasen miteinander zu vergleichen.

---

[1]) Wir hätten auch umgekehrt vorgehen können, d. h. erst die Annahme von der gleichen Anzahl der Molekeln machen und aus ihr die Gleichheit der Bewegungsenergie folgern können.

Wenn zwei Gase durch eine Öffnung ineinander diffundieren, so müssen anfangs, wenn die Gasdrucke auf beiden Seiten gleich sind, die Geschwindigkeiten den Molekulargewichten umgekehrt proportional sein. Das leichtere Gas wird schneller diffundieren als das schwerere. Auf der Seite des ersteren wird also der Druck ab-, auf der Seite des letzteren wird er zunehmen. Ist die Öffnung weit, dann kann eine solche Druckdifferenz nicht eintreten, ohne dass sofort eine Strömung von der Seite des höheren Drucks nach der des niedrigerern sich einstellt. Bei sehr enger Öffnung dagegen tritt die Druckdifferenz ein und bleibt einige Zeit erhalten.

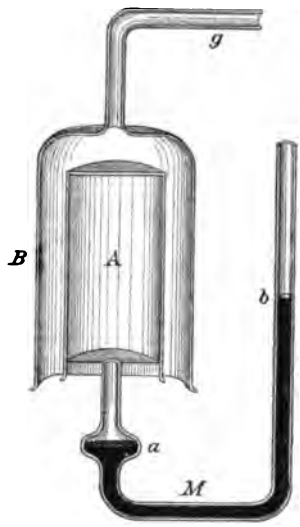


Fig. 12.

Gasdiffusion durch poröse Scheidewände.

Die schwach gebrannte und deshalb poröse Thonzelle *A* ist durch einen gut schliessenden Kork mit dem Manometer verbunden. Über sie wird die Glasglocke *B* gestülpt und von *g* aus ein Strom von Wasserstoffgas zugeführt. Das in dem Zwischenraum zwischen *A* und *B* enhaltene leichte Wasserstoffgas diffundiert schneller in *A* hinein, als die schwereren Gase (Sauerstoff und Stickstoff) aus *A* austreten können. Daher steigt der Druck in *A* und hebt das Quecksilber im Manometer *M* bis *b*.

Die Druckabnahme auf der Seite des leichteren Gases wird schneller eintreten und höhere Werte erreichen, wenn die Diffusion durch viele enge Öffnungen gleichzeitig erfolgen kann z. B. durch die Poren einer Scheidewand wie Thon, Gyps, Holz oder dergl. Das lässt sich sehr schön auf folgende Weise demonstrieren. *A* ist ein poröser Thoncylinder, wie er in den konstanten galvanischen Elementen benutzt wird. Derselbe ist unten mit einem Kork verschlossen, in dessen Bohrung ein Manometer eingeführt ist. Stülpt man über denselben eine gläserne Glocke *B* und lässt in dieselbe Wasserstoff treten, so wird dieses leichte Gas sehr schnell durch die engen Öffnungen des Thons in das Innere diffundieren, während die im Inneren enthaltenen schwereren Gase, Sauerstoff und Stickstoff, langsamer austreten. Die Folge davon ist eine Drucksteigerung im Inneren, welche an dem Steigen des Manometers sichtbar wird.

Nimmt man, wenn das Manometer einen festen Stand erreicht hat, die Glasglocke fort, so sinkt der Druck im Innern des Thoncylinders und wird sogar negativ. Der Wasserstoff, welcher vorher schneller eintrat, als Luft austreten konnte, tritt jetzt schneller aus, als die Luft eintreten kann. In beiden Fällen war es immer das leichtere Gas, das schneller diffundiert.

Man kann den Versuch auch mit Leuchtgas machen, welches ebenfalls leichter ist als atmosphärische Luft, doch sind die Ausschläge des

Manometers nicht so groß wie bei Wasserstoff. Leuchtgas ist ein Gemenge von Gasen, in welchem das sogenannte Grubengas den Hauptteil einnimmt. Grubengas giebt, mit Luft gemischt, explosive Mischungen. Sie sind eine der häufigsten Ursachen der Explosionen in Kohlenbergwerken, der sogenannten schlagenden Wetter. Es ist deshalb von großer Wichtigkeit, die Ansammlung von Grubengas rechtzeitig zu erkennen. Ein dazu geeignetes Instrument beruht auf dem Prinzip des eben beschriebenen Versuchs. Ein durch eine Thonplatte verschlossenes Gefäß steht mit einem Manometer in Verbindung. Wenn sich in der Umgebung der Thonplatte Grubengas befindet, so diffundiert es schneller durch die Thonplatte in das Gefäß hinein, als die im Innern befindliche Luft nach außen. Es entsteht im Innern eine Drucksteigerung; das Quecksilber im Schenkel r' des Manometers steigt; dadurch wird ein galvanischer Strom geschlossen und eine Alarmglocke in Thätigkeit versetzt.

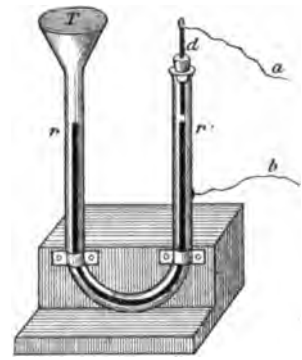


Fig. 13.

Indikator für Grubengas. Die Öffnung des Trichterrohrs $r\,r'$ ist durch eine aufgekittete Platte von Gips oder Thon geschlossen. Wenn die Luft in der Umgebung dieser Platte Grubengas enthält, so dringt dieses schneller in den Trichter, als die atmosphärische Luft aus ihm entweichen kann. Durch die Drucksteigerung wird das Quecksilber bei r' gehoben; sobald das Quecksilber den Draht d berührt, wird eine zwischen a und b eingeschaltete elektrische Batterie geschlossen und ein in der Leitung befindliches Läutewerk in Thätigkeit versetzt.

11. Eigenschaften der Flüssigkeiten.

11. Die Eigenschaft der Gase, entsprechend den wechselnden Drucken ihr Volum zu verändern, bezeichnet man auch als Elastizität. Nehmen wir eine gläserne Spritze zur Hand, wie sie für anatomische Gefäßinjektionen benutzt wird. In einem Glascylinder kann ein luftdicht schließender Stempel verschoben werden. Am unteren Ende ist der Cylinder mit einer Messingfassung versehen und kann durch einen Hahn abgeschlossen werden. Wir stellen den Stempel ungefähr auf die Mitte des Cylinders und schließen den Hahn. Wenn wir den Stempel nach unten stoßen und loslassen, kehrt er wieder in seine Mittelstellung zurück. Dasselbe geschieht, wenn wir ihn nach oben ziehen und dann loslassen. Man kann also die eingeschlossene Luft durch Druck zusammenpressen oder verdichten und durch Zug ausdehnen oder verdünnen; sobald der Druck oder Zug nachlässt, kehrt das Gas (vorausgesetzt, dass die Temperatur wieder die gleiche geworden ist) zu seinem ursprünglichen Volum zurück.[1])

[1]) Entsteht eine solche Druckschwankung an einer Stelle einer Gasmasse, so wirkt die Veränderung auf die benachbarten Teile und pflanzt sich von der Ursprungsstelle aus nach allen Richtungen fort. Hierauf beruht u. a. die Fortpflanzung des Schalles.

Wegen dieser sehr vollkommenen Elastizität hat man die Gase auch elastische Flüssigkeiten genannt, zum Unterschied von den eigentlichen oder tropfbaren Flüssigkeiten. Auch tropfbare Flüssigkeiten dehnen sich mit steigender Temperatur aus, aber weder ist der Grad der Ausdehnung für alle Flüssigkeiten derselbe, noch ist sie für eine und dieselbe Flüssigkeit so gleichartig, wie dies bei den Gasen der Fall ist. Es fehlt selbst nicht an auffallenden Abweichungen. Wasser z. B. zieht sich bei zunehmender Temperatur von 0^0 — 4^0 zusammen, und erst über 4^0 dehnt es sich bei weiterem Steigen der Temperatur aus, aber nicht gleichmäßig, sondern bei den höheren Temperaturen in stärkerem Grade.

Gegen Drucksteigerungen sind Flüssigkeiten fast unempfindlich. Wasser wird durch den Druck einer Atmosphäre nur um 50 Milliontel seines Volums zusammengedrückt. Um es auf die Hälfte seines Volums zusammenzupressen, müsste man also einen Druck von 10000 Atmosphären anwenden, vorausgesetzt, dass die Kompressibilität gleichmäßig bliebe. Ebensowenig kann man eine Flüssigkeit durch Verminderung des Druckes ausdehnen oder ihre Dichte verringern. Dagegen lassen sich die einzelnen Teile einer Flüssigkeit leicht voneinander trennen; sie hängen nur locker zusammen, bei verschiedenen Flüssigkeiten mit verschiedener, auch mit der Temperatur sich ändernder Stärke. Man bezeichnet das als Kohäsion. Sie ist die Ursache der Tropfenbildung. Die Teilchen bleiben im Zusammenhang, bis das Gewicht des Tropfens groß genug ist, um die Kohäsion zu überwinden, d. h. den Tropfen von dem Rest der Flüssigkeit loszureißen.

Die Molekeln einer Flüssigkeit haben also eine bestimmte Entfernung voneinander, welche sich mit der Temperatur ändert, vom Druck dagegen fast gar nicht abhängig ist. Sie sind, ohne dass diese Entfernung geändert wird, leicht gegeneinander verschiebbar. Deswegen nimmt eine Flüssigkeit alle möglichen Formen an, je nach dem Gefäß, in das man sie gießt. Sich selbst überlassen, d. h. allen äußeren Einwirkungen entzogen, nimmt sie Kugelform an.

Die Molekeln einer Flüssigkeit müssen wir uns ebenso wie die eines Gases in fortwährender Bewegung vorstellen. Doch sind die Wege, welche die einzelnen Teilchen zurücklegen, wegen der stärkeren Wirkung der Teilchen aufeinander, nur kurz. Wahrscheinlich schwingen die Teilchen auf Zickzackwegen innerhalb eines sehr kleinen Raumes fortwährend hin und her, wobei alle einen gewissen mittleren Abstand voneinander einhalten. Wächst bei steigender Temperatur die Energie der molekularen Bewegungen, so nimmt der mittlere Abstand der Molekeln zu und damit das Gesamtvolum. Weil aber die Molekeln bei ihrem geringen Abstand sich gegenseitig

beeinflussen, so wächst die Energie mit steigender Temperatur nicht so regelmäßig wie bei den Gasen, und deshalb ist auch die Volumsveränderung ungleichmäßig und nicht bei allen Flüssigkeiten dieselbe.

12. Verhalten der Flüssigkeitsteilchen an der Oberfläche.

12. Bisher haben wir nur von Molekeln gesprochen, welche sich im Innern der Flüssigkeit befinden; diese sind von allen Seiten von anderen Teilchen umgeben, die gleichmäßig aufeinander einwirken. Nehmen wir an, der Einfluss der Molekeln aufeinander erstrecke sich bis auf die Entfernung r, so wird jede Molekel, welche von der Oberfläche eine geringere Entfernung hat als r, in der Richtung nach innen stärker beeinflusst als in der Richtung nach außen. Wenn die Molekeln bei ihrer Bewegung an die Oberfläche gelangen, werden sie von den im Innern befindlichen Molekeln gleichsam zurückgezogen. Wenn aber die Geschwindigkeit einer Molekel und damit ihre Energie einen gewissen Wert überschreitet, so kann sie die Anziehung durch die unterhalb der Oberfläche liegenden Molekeln überwinden. Die Molekel löst sich dann von der übrigen Flüssigkeit und gelangt in den oberhalb derselben befindlichen Raum, sei dieser leer oder mit einem anderen Körper, in den sie eindringen kann, z. B. einem Gas gefüllt. In diesem Falle kann die Molekel in dem Raum sich frei weiter bewegen; sie verhält sich von nun an wie eine Gasmolekel. Wir sagen dann, die Flüssigkeit verdunstet; sie verwandelt sich zum Teil in Dampf.

Nach dem Gesagten ist es klar, warum die Verdunstung um so lebhafter vor sich gehen muss, je höher die Temperatur ist. Für jede Flüssigkeit giebt es eine Temperatur, bei welcher auch im Innern die Energie der Molekeln groß genug wird, um die Kohäsion und den Druck der über ihnen befindlichen Molekeln zu überwinden. Dann kann sich die ganze Flüssigkeit in Dampf verwandeln, die Flüssigkeit siedet.[1]) Aus einem offenen Gefäß wird eine Flüssigkeit nach und nach vollkommen verdunsten, um so schneller, je höher die Temperatur ist. Ist aber das Gefäß geschlossen und befindet sich über der Flüssigkeit ein Gas oder ein luftleerer Raum, so werden die in diesen hineingelangenden Flüssigkeitsmolekeln nur endliche Wege zurücklegen können; sie werden an den Wandungen des Gefäßes abprallen und bei ihren Bewegungen von Zeit zu Zeit wieder die Flüssigkeitsoberfläche treffen. Sie werden dann, je nach ihrer Geschwindigkeit, mehr oder weniger tief in das Innere eindringen und können dort wieder festgehalten werden. Je weiter

[1]) Befinden sich oberhalb der Flüssigkeit Gase, so setzt sich der zu überwindende Druck zusammen aus dem der Flüssigkeit selbst und dem über ihr befindlichen Gasdruck. Wasser siedet bei normalem Atmosphärendruck bei 100°, bei einem Druck von 700 mm hg schon bei 97,°72 u. s. f.

die Verdunstung vorgeht, je größer die Anzahl der Flüssigkeitsmolekeln in dem Raume oberhalb der Flüssigkeit geworden ist, desto öfter wird das eintreten. Es muss daher ein Zeitpunkt kommen, wo die Zahl der aus der Flüssigkeit austretenden Molekeln gleich ist der Zahl der in sie eintretenden. Von jetzt ab wird also die Menge des gebildeten Dampfes konstant bleiben. Wir sagen dann, der Raum sei mit dem Dampf gesättigt. Wie groß diese Menge ist, hängt von der Größe des Raums und von der Temperatur ab, nicht aber von der Menge der Flüssigkeit, vorausgesetzt, dass diese groß genug ist, um die Sättigung herzustellen, ehe alle Flüssigkeit verdunstet ist. Um einen Raum von 3—4 Litern mit Wasserdampf zu sättigen, genügt schon ein Tropfen Wasser.[1])

Wir können die Menge dieses zur Sättigung notwendigen Dampfes dem Gewichte nach bestimmen. In 1 m^3 Luft können bei einer Temperatur von 15^0 12,8 g Wasserdampf enthalten sein; nicht mehr, denn der Überschuss würde sich zu flüssigem Wasser verdichten; aber auch nicht weniger, wenn der Sättigungspunkt erreicht ist. Da die oberhalb der Flüssigkeit befindlichen Molekeln des Wasserdampfes sich ganz wie die Molekeln eines Gases verhalten, mögen sie allein vorhanden sein oder mit einem echten Gas gemischt, so üben sie einen ihrer Menge entsprechenden Druck (oder Partialdruck) aus. Man nennt diesen Druck, welcher mit der Temperatur wechselt, die Dampftension der Flüssigkeit für die betreffende Temperatur Bei 18^0 ist z. B. die Tension des Wasserdampfes = 15,4 mm hg; bei 24^0 ist sie = 22 mm hg. u. s. w.

Bei 100^0 ist die Tension = 760 mm hg, d. h. gleich dem Druck der Atmosphäre. Bei dieser Temperatur kann also, wie es beim Sieden geschieht, alles Wasser in Dampfform übergehen.

13. Verhalten der Dämpfe.

13. Ist eine Flüssigkeit in ein Gefäß eingeschlossen, welches sie nicht vollständig ausfüllt, und ist alle über der Flüssigkeit stehende Luft entfernt, so wird dieser Raum so viel von dem Dampf der Flüssigkeit aufnehmen, als der Temperatur entspricht, d. h. die Flüssigkeit verdunstet so weit, bis die Tension des Dampfes für die betreffende Temperatur erreicht ist. Wird der Raum, etwa durch Niederdrücken eines Stempels, auf die Hälfte verkleinert, so würde, bei einem echten Gase der Druck, entsprechend dem Boyle'schen Gesetz, doppelt so groß werden. In unserm Fall geschieht dies nicht; vielmehr kondensiert sich ein Teil des Dampfes zu Flüssigkeit, und der Druck bleibt unverändert. Umgekehrt, wenn man den Raum vergrößert, entsteht mehr Dampf aus der Flüssigkeit, bis wieder der gleiche Dampfdruck hergestellt ist. Wiederholt man diese Versuche bei höheren Temperaturen, so ist die Dampf-

[1]) Vergl. die Kap. 4 § 4 beschriebenen Versuche.

tension, d. h. der Druck größer, sonst aber ist der Erfolg derselbe. Erhöht man die Temperatur bis zum Siedepunkt der Flüssigkeit, so ist die Dampftension, wie wir gesehen haben, gleich dem Amosphärendruck. Um das Weitere an einem konkreten Beispiel leichter verfolgen zu können, nehmen wir an, der Versuch werde mit Wasser angestellt. Wir erhitzen Wasser auf 100° und lassen dem entstehenden Dampf freien Spielraum, sich auszudehnen. In dem Augenblick, wo alles Wasser in Dampf verwandelt ist, sperren wir den Raum ab. Wir haben jetzt einen Raum vom Volum V, gefüllt mit Wasserdampf von der Temperatur 100° und vom Druck 760 mm hg. Wir erhalten den Raum stets auf der Temperatur 100°. Wenn wir ihn verkleinern, kondensiert sich ein Teil des Dampfes zu flüssigem Wasser, der Rest des Dampfes behält den Druck 760 mm hg. Wenn wir dagegen den Raum vergrößern, so dehnt sich der vorhandene Dampf aus; neuer Dampf kann nicht entstehen, da kein Wasser vorhanden ist; also sinkt der Druck und u. z. wie bei Gasen, nach dem Boyle'schen Gesetz.

Wir sehen also, dass dieser Wasserdampf von 100° nur bei Drucken von über 760 mm von den Gasen sich unterscheidet, bei niederen Drucken dagegen verhält er sich ganz wie sie. Erhöhen wir die Temperatur, so dehnt sich der Dampf, wenn der Druck konstant erhalten wird, aus. Wird aber das Volum konstant erhalten, so steigt der Druck, ohne dass Kondensation eintritt. Bei der Temperatur 200° ist der Druck = 11689 mm hg, d. h. mehr als 15 Atmosphären; erst bei weiterer Steigerung des Druckes durch Volumverkleinerung wird wieder ein Teil des Dampfes zu flüssigem Wasser. Je höher die Temperatur, desto größer wird der Bereich der Drucke, innerhalb dessen der Dampf sich wie ein Gas verhält.

Ganz ebenso verhalten sich die Dämpfe anderer Flüssigkeiten, die Unterschiede hängen nur ab von dem, was wir den Siedepunkt nennen. Je höher die Temperatur über dem Siedepunkte liegt, desto ähnlicher ist der Dampf einem Gas; je niedriger der Siedepunkt, desto leichter ist dieser Zustand herzustellen. Es besteht daher kein prinzipieller Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen. Wir können alle sogenannten Gase, d. h. die Stoffe, welche bei gewöhnlicher Temperatur und mittlerem Druck gasförmig sind, auffassen als Dämpfe von Flüssigkeiten, deren Siedepunkte sehr tief liegen. Dem entspricht auch die Erfahrung, dass manche Gase durch bloße Abkühlung zu Flüssigkeiten verdichtet werden können, so Schwefeldioxyd bei etwa — 20°, Ammoniak bei — 40°.[1]) Bei den

[1]) Wird der Druck bis nahe an den zur Verflüssigung erforderlichen gesteigert, dann gilt das Boyle-Mariotte'sche Gesetz nicht mehr, die Volumsabnahme erfolgt dann in schnellerer Progression als die Druckzunahme. Es

meisten Gasen ist die Verdichtung nur möglich unter gleichzeitiger Anwendung hoher Drucke und niederer Temperaturen. Dies gilt besonders für diejenigen Gase, welche man früher nicht zu kondensieren, vermochte und die man deshalb „nicht coercible“ oder „permanente“ Gase nannte. Wenn aber die Temperatur sehr hoch über den Siedepunkt steigt, dann ist die Verdichtung auch bei den stärksten, mit unseren Hilfsmitteln erreichbaren Drucken nicht mehr möglich. Diejenige Temperatur, bei der dies eintritt, nennt man die kritische Temperatur.

14. Gasabsorption.

14. Als Gegenstück der Verdunstung kann man die Absorption, das Eindringen von Gasmolekeln in das Innere einer Flüssigkeit, ansehen. Befindet sich ein Gas über einer Flüssigkeit, so stoßen die Gasmolekeln bei ihren Bewegungen auf die Oberfläche und dringen vermöge der ihnen zukommenden Energie zwischen die Molekeln der Flüssigkeit ein. Die Menge des von der Flüssigkeit absorbierten Gases ist verschieden je nach der Art der Flüssigkeit und des Gases; sie hängt außerdem von der Temperatur und dem Gasdruck ab. Uns interessiert hauptsächlich das Verhalten der in den lebenden Wesen vorkommenden Gase Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxyd gegen Wasser und wässerige Lösungen.

Destilliertes Wasser, frisch bereitet, kann ganz frei von absorbierten Gasen sein, nimmt aber sofort, wenn es mit Luft in Berührung kommt, Gas auf. Man kann es gasfrei machen, wenn man es lange genug dem Vacuum aussetzt, oder indem man es längere Zeit im Kochen erhält. In gut verschlossenen und keine Gase enthaltenden Gefäßen aufbewahrt, bleibt es dann gasfrei.

Schüttelt man solches Wasser mit einem Gas in einem verschlossenen Gefäße, wobei eine innige Berührung in sehr großer und immer wieder erneuerter Oberfläche zwischen Flüssigkeit und Gas stattfindet, so tritt die Absorption schnell ein. Wenn sie vollendet ist, kann man die Menge des absorbierten Gases bestimmen. Auf diese Weise hat man gefunden, dass (andere Umstände als gleich angenommen) jede Flüssigkeit von jedem Gase eine ganz bestimmte Menge aufnimmt. Man sagt dann, die Flüssigkeit sei mit dem Gase für die bestehende Temperatur und den herrschenden Gasdruck gesättigt.

Mit zunehmender Temperatur wird die Absorption geringer, mit zunehmendem Druck größer. Die von einem bestimmten Volum Flüssigkeit absorbierte Gasmenge wächst dem Druck proportional (Gesetz von Henry). Da

scheint dabei eine Art von Übergangszustand von dem gasförmigen zum flüssigen zu bestehen.

nach dem BOYLE'schen Gesetz das Volum einer Gasmenge dem Drucke umgekehrt proportional ist, so kann man das HENRY'sche Gesetz auch so ausdrücken: Das von einer bestimmten Menge Flüssigkeit aufgenommene Gasvolum ist vom Drucke unabhängig.[1])

Dasjenige Volum eines Gases, welches von der Volumseinheit einer Flüssigkeit bei 0° absorbiert wird, nennt man den Absorptionscoëfficienten des Gases für die betreffende Flüssigkeit.

Je größer der Druck ist, unter dem ein Gas steht, desto mehr Molekeln werden in jedem Zeitteilchen auf die Oberfläche der Flüssigkeit treffen und in dieselbe eindringen. Andererseits wird die Zahl der Gasmolekeln, welche von der Seite der Flüssigkeit her wieder in den Gasraum austreten, um so größer sein, je mehr Gas die Flüssigkeit enthält. Zwischen der Menge des aufgenommenen Gases und dem Druck des Gases muss sich also ein festes Verhältnis herausbilden, bei welchem die Flüssigkeit in jedem Zeitteilchen gerade so viel Gasmolekeln aufnimmt, wie sie ausgiebt.

Die Geschwindigkeit der Gasmolekeln wird innerhalb der Flüssigkeit sehr viel geringer sein als in dem Gasraum, sie wird aber mit der Temperatur steigen. Daher muss die Absorption mit steigender Temperatur abnehmen. Bei der Siedetemperatur, bei welcher die Flüssigkeit selbst in Gasform übergeht, hört auch jede Gasabsorption auf.

Für Wasser ist der Absorptionscoëfficient von

Sauerstoff	0,041	Sehwefelwasserstoff	4,371
Stickstoff	0,020	Schweflige Säure	79,789
Kohlendioxyd	1,797	Ammoniak	1050,000
Wasserstoff	0,019	Chlorwasserstoff etwa	500,000
Grubengas	0,054		

Aus einem Gemenge von Gasen wird von jedem gerade so viel absorbiert, als dem Partialdruck desselben entspricht (Gesetz von Dalton.) So nimmt Wasser aus atmosphärischer Luft auf

$$\text{Stickstoff } {}^4/_5 \times 0{,}02 = 0{,}016$$
$$\text{Sauerstoff } {}^1/_5 \times 0{,}04 = 0{,}008$$

Es enthält also die im Wasser absorbierte Luft auf je 2 Volum Stickstoff 1 Volum Sauerstoff; sie ist relativ reicher an Sauerstoff als die atmosphärische Luft, was offenbar für die im Wasser lebenden Tiere von Wichtigkeit ist.

Wasser, welches feste Stoffe aufgelöst enthält, absorbiert an Gasen in der Regel weniger als destilliertes Wasser. Wenn aber zwischen

[1]) Dabei ist vorausgesetzt, dass die Messung des Gasvolums bei demjenigen Druck erfolgt, bei dem die Absorption stattgefunden hat.

jenen Stoffen und den Gasen chemische Wirkungen zu stande kommen können, dann gelten die Absorptionsgesetze nicht mehr. Diese Beziehungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten spielen eine wichtige Rolle bei den Vorgängen der Atmung.

Wenn eine Flüssigkeit, welche Gase absorbiert enthält, in Berührung kommt mit anderen Gasen oder mit einer anderen Flüssigkeit, und wenn die Tension der Gase auf beiden Seiten der Grenzfläche ungleich ist, so tritt ein Austausch von Gasen ein. Nehmen wir z. B. an, eine Flüssigkeit enthalte Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxyd und zwar von jedem Gase so viel, als den Partialdrucken dieser Gase in der mit ihr in Berührung stehenden Atmosphäre entspricht. Wird nun die Menge des Kohlendioxyds in der Luft vermehrt, so nimmt die Flüssigkeit mehr von diesem Gas auf; wird sie vermindert, so giebt sie es wieder ab[1]).

15. Gasdiffusion durch nasse Scheidewände.

15. Sind zwei Gase durch eine dünne Flüssigkeitslamelle oder eine mit Flüssigkeit getränkte Membran[2]) getrennt, so findet ein Austausch statt, wobei das Gas, welches in stärkerem Grade absorbiert wird, schneller wandert.

Man kann ein großes offenes Glasgefäß mit Kohlendioxyd füllen, wenn man das Gas durch ein bis zum Boden reichendes Rohr zuleitet. Wegen seiner größeren Schwere[3]) lagert sich das Kohlendioxyd unterhalb der atmosphärischen Luft, drängt diese durch die obere Öffnung hinaus und verliert sich nur langsam, wenn man das Gefäß offen stehen lässt, aus demselben durch Diffusion in die Luft. Mit dem so mit Kohlendioxyd gefüllten Gefäß kann man folgende Versuche anstellen.

Lässt man mit Wasserstoff gefüllte Seifenblasen auf das Kohlendioxyd fallen, so schwimmen dieselben förmlich auf ihr. Sie schwellen dabei zu erheblicher Größe an, weil das Kohlendioxyd schneller in sie eindringt, als Wasserstoff austreten kann. Da sie schwerer werden, sinken sie langsam und platzen schließlich. Eine nasse, schlaff mit Luft gefüllte Blase schwillt gleichfalls ganz beträchtlich an, sobald sie in das mit Kohlendioxyd gefüllte Gefäß gelegt wird. In beiden Fällen wandert das Kohlendioxyd schneller durch die flüssige Trennungsschicht, weil

---

[1]) Ist eine Flüssigkeit unter hohem Druck mit einem Gas imprägniert, wie dies bei der Bereitung der kohlensauren Wässer geschieht, so entweicht ein Teil des Gases, sobald der Druck vermindert wird. Das Gleiche gilt von den Wässern, welche aus großer Tiefe kommen; sie sind reich an absorbierten Gasen, weil in diesen Tiefen ein sehr hoher Druck herrscht.

[2]) Die Membran dient nur dazu, der Flüssigkeit Halt und Form zu geben, das feste Gerüst derselben spielt bei dem Vorgang weiter keine Rolle.

[3]) Kohlendioxyd ist etwa $1^1/_2$ mal so schwer als atmosphärische Luft und 22 mal so schwer als Wasserstoff.

Kohlendioxyd von Wasser viel stärker absorbiert wird als Wasserstoff, Sauerstoff oder Stickstoff.

16. Verschiedene Flüssigkeiten, welche chemisch indifferent gegeneinander sind, mischen sich entweder in allen oder nur in bestimmten Verhältnissen oder auch gar nicht miteinander. Ein Beispiel für den ersten Fall bieten Alkohol und Wasser, für den zweiten Äther und Wasser, für den dritten Öl und Wasser. Eine Mischung von Alkohol und Wasser in beliebigem Verhältnis ist eine homogene Flüssigkeit, welche in ihren Eigenschaften eine Mittelstellung zwischen denen der beiden Bestandteile einnimmt. Sie schmeckt und riecht nach Alkohol und wirkt wie jener, nur in geringerem Maße. Ihr spezifisches Gewicht liegt zwischen denen der beiden Bestandteile. Wir können annehmen, dass die beiden Bestandteile in dem Gemenge noch als solche vorhanden sind. 16. Mischung von Flüssigkeiten.

Gießt man Wasser und Äthyläther zusammen, schüttelt gehörig und lässt es ruhig stehen, so bilden sich zwar zwei scharf voneinander getrennte Schichten, aber die Flüssigkeiten haben sich nicht einfach wieder voneinander getrennt, sondern das Wasser hat etwas Äther (etwa $^1/_{14}$ bis $^1/_{12}$ seines Volums), der Äther etwas Wasser (etwa $^1/_{36}$ seines Volums) aufgenommen. Der wasserhaltige Äther hat ein geringeres spezifisches Gewicht als das ätherhaltige Wasser. Er lagert sich deshalb über dem ätherhaltigen Wasser. Die Grenze ist wegen des verschiedenen Verhaltens gegen Licht deutlich erkennbar. Wird endlich Wasser mit Öl geschüttelt, so tritt gar keine Mischung ein; das Öl verteilt sich in kleine Tröpfchen, aber beim Stehen sammelt sich alles Öl, weil es spezifisch leichter ist, über dem Wasser.

Da Alkohol ein geringeres, Wasser ein größeres spezifisches Gewicht hat als Öl, so kann man durch Mischung von Wasser und Alkohol eine Flüssigkeit von spezifischem Gewicht des Öls herstellen. Auch diese Flüssigkeit ist mit Öl nicht mischbar. Bringt man in eine größere Masse derselben mit Hilfe einer Pipette Öl, so ballt sich dasselbe zu einer Kugel zusammen, welche von dem Alkoholwasser scharf abgegrenzt bleibt.

17. Schichtet man von zwei Flüssigkeiten, welche mischbar sind und verschiedenes spezifisches Gewicht haben, z. B. Wasser und Alkohol, die leichtere vorsichtig über die schwerere, so dass keine Mischung eintritt, so wird die scharfe Grenze, auch wenn beide Flüssigkeiten wasserhell und farblos sind, deutlich erkennbar sein wegen der etwas verschiedenen Lichtbrechung. Sie bleibt aber nicht scharf, denn es beginnt sofort eine Diffusion; die Flüssigkeiten mischen sich miteinander, selbst wenn man Erschütterungen, Temperaturschwankungen u. dgl. sorgfältig vermeidet. Leichter kann man 17. Diffusion von Flüssigkeiten.

den Vorgang verfolgen, wenn man eine gefärbte Flüssigkeit, z. B. eine gesättigte Lösung von Kupfersulfat[1]), welche tief blau ist, als untere und reines destilliertes Wasser als obere Flüssigkeit wählt. Schon nach kurzer Zeit sieht die Grenzfläche nicht mehr scharf aus. Die blaue Farbe breitet sich nach oben aus, während die unten befindliche Lösung blasser wird. Entnimmt man aus den oberen Schichten Proben, so kann man in ihnen auch durch chemische Mittel die Anwesenheit von Kupfersulfat nachweisen. Es hat also eine Wanderung des in dem unteren Wasser gelösten Salzes stattgefunden. Sie dauert fort, bis die Flüssigkeit in allen Schichten eine ganz gleichförmige Beschaffenheit angenommen hat.

Wir haben Gründe anzunehmen, dass innerhalb einer Lösung nicht nur die Molekeln des Lösungsmittels, sondern auch die des gelösten Körpers sich ganz wie Molekeln von Flüssigkeiten verhalten. Wir können uns vorstellen, dass die Molekeln des letzteren sich zwischen denen des ersteren hin und her bewegen. Die Molekeln des Kupfersulfats in unserem Beispiel werden also innerhalb des Wassers, in welchem sie gelöst sind, hin- und herschwingen.

Grenzt die Lösung oben an Luft, so können die Kupfersulfatmolekeln natürlich nicht über die Grenzfläche hinaus gelangen[2]). Befindet sich aber über der Lösung reines Wasser, dann können die Kupfersulfatmolekeln wohl zwischen die Wassermolekeln eindringen und sich in diesen weiter verbreiten. Gleichzeitig werden Molekeln aus der oberen reinen Wasserschicht in die Lösung eindringen und dieselbe verdünnen. Das wird so lange der Fall sein, bis die Verteilung der Salzmolekeln in dem ganzen Raum eine vollkommen gleichmäßige geworden ist.

Für verschiedene Substanzen ist die Diffusionsgeschwindigkeit verschieden, für eine und dieselbe Substanz erfolgt die Diffusion um so schneller, je größer die Konzentration der Lösung und je höher die Temperatur ist. Mit der Konzentration wächst die Zahl der Molekeln des festen Körpers in der Volumseinheit der Lösung; mit der Temperatur wächst die Energie der molekularen Bewegung. Wenn die eine oder die andere zunimmt, wird die Zahl der Molekeln größer, welche in der Zeiteinheit die Grenzfläche überschreiten. Mit steigender Temperatur nimmt außerdem die Geschwindigkeit

---

[1]) Von den Lösungen und anderen Beziehungen zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten wird in Kap. 7 noch mehr die Rede sein.

[2]) Wäre statt des Kupfersulfats ein flüchtiger Stoff in Lösung, d. h. ein solcher, der bei der herrschenden Temperatur in Gasform übergehen kann, dann wäre der Übergang in den Gasraum allerdings möglich. Ein solcher Stoff würde sich nach und nach aus der Lösung verflüchtigen.

und infolge dessen der Weg zu, welchen die Molekeln nach ihrem Übertritt in das andere Medium hinein zurücklegen.

18. Werden zwei Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand, etwa eine Thonplatte, getrennt, dann dringen beide in die Poren ein, berühren sich innerhalb derselben und treten dort in Diffusion. Die Scheidewand gewährt die Möglichkeit, die Flüssigkeiten jederzeit zu trennen und festzustellen, wieviel von jeder derselben auf die andere Seite hinübergewandert ist. Man benutzt zu diesen Versuchen in der Regel statt der Thonplatte tierische oder pflanzliche Membranen, z. B. die Harnblase eines Tieres oder künstliche Membranen von ähnlicher Beschaffenheit. Befindet sich auf der einen Seite reines Wasser, auf der anderen eine wässerige Lösung, so zeigt sich, dass die Wanderung des Wassers in der einen Richtung mit größerer Geschwindigkeit erfolgt als die Wanderung des gelösten Stoffes in der entgegengesetzten Richtung[1]).

18. Diffusion von Flüssigkeiten durch poröse Scheidewände.

Fig. 14.
Endosmometer. Die Glasglocke *A*, welche unten durch Schweinsblase oder vegetabilisches Pergament geschlossen und mit einer Lösung von Kupfersulfat gefüllt ist, steht durch einen Kork mit dem Steigrohr *s* in Verbindung. Sie wird in das mit reinem Wasser gefüllte Gefäß *g* eingehängt. Kupfersulfat diffundiert nach außen, was man an der Blaufärbung des Wassers erkennt. Da aber gleichzeitig mehr Wasser nach innen diffundiert, steigt die Flüssigkeit im Rohr *s*.

Als Beispiel hierfür mag der folgende Versuch dienen: Ein weiter Glascylinder A ist unten durch eine Membran geschlossen und zum Teil mit gesättigter Kupfersulfatlösung gefüllt; sein unteres Ende taucht in ein weiteres, mit destilliertem Wasser gefülltes Gefäß *g* Man sieht bald, dass Kupfersulfat durch die Membran hindurch zum Wasser gelangt, denn dieses wird nach und nach blau, während die Lösung in dem Cylinder blasser wird. Gleichzeitig nimmt auch das Volum der Flüssigkeit in dem Cylinder zu. Geht der Glascylinder A oben in ein enges Rohr über, so steigt die Flüssigkeit zu einer beträchtlichen Höhe. Erst wenn der Druck in dem Cylinder einen bedeutenden Wert erreicht hat, hört der weitere Übertritt von Wasser auf, Von dem abweichenden Verhalten vieler organischer Stoffe wird später die Rede sein.

Man nennt die Erscheinungen dieser Art *Osmose* oder *Diosmose*. Es giebt auch Membranen, durch

[1]) Die Membran müssen wir uns als ein Gerüst vorstellen, welches von vielen, miteinander zusammenhängenden Kanälen durchsetzt ist. Die Diffusion findet in diesen Kanälen statt. Sehr vorteilhaft ist für solche Versuche das sogenannte vegetabilische Pergament, d. h. Papier, welches durch Behandlung mit starker Schwefelsäure große Festigkeit und gleichförmiges Gefüge erhalten hat.

welche überhaupt nur Wasser oder sonstige Lösungsmittel, dagegen gar nichts von den gelösten Stoffen hindurchtreten kann. Man nennt sie halbdurchlässig. Zu ihnen gehören viele Teile von Lebewesen; deshalb spielen die Erscheinungen der *Osmose* bei den Lebensvorgängen eine wichtige Rolle. An dieser Stelle wollen wir nur die Gesetze der *Osmose* im allgemeinen entwickeln; auf die entsprechenden Erscheinungen in den Lebewesen werden wir später eingehen. Zum Studium derselben eignen sich künstlich hergestellte halbdurchlässige Membranen, wie man sie durch Erzeugung gewisser chemischer Niederschläge erhalten kann.

Da die Membranen sehr dünn und zerreißlich sind, so erzeugt man sie auf einer an sich leicht durchgängigen porösen, aber festen Fläche. Man nehme z. B. eine poröse Thonzelle, wie sie in galvanischen Elementen benutzt werden, fülle sie mit einer Lösung von Kupfersulfat und entleere sie wieder. Die Wand bleibt mit der Lösung benetzt. Nun fülle man sie mit einer Lösung von Ferrocyankalium und entleere sie wieder. Auf der Innenfläche der Thonzelle ist dann ein Niederschlag von Kupferferrocyanid in Gestalt einer sehr dünnen, kontinuierlichen Haut entstanden, welche, durch die Thonwand gestützt, selbst hohe Drucke aushalten kann. Die Thonwand selbst gestattet sowohl dem Wasser wie in Wasser gelösten Stoffen leicht den Durchtritt. Die dünne Kupferferrocyanidhaut aber, welche sie im Innern bekleidet, ist nur für Wasser durchgängig.

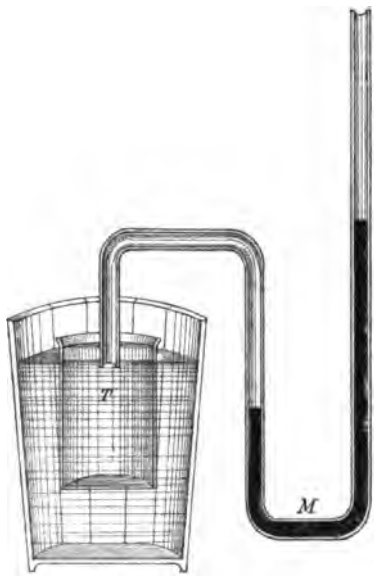


Fig. 15.

Osmotischer Druck.

Die poröse Thonzelle *T* ist innen mit einer halbdurchlässigen Membran aus Kupferferrocyanid bekleidet. Sie ist mit einer Zucker- oder Salzlösung gefüllt und durch einen gut schließenden Kork mit dem Manometer *M* verbunden. Stellt man die Zelle in ein Gefäß mit reinem Wasser, so dringt letzteres in die Zelle ein, bis ein bestimmter, von der Konzentration der Flüssigkeit abhängiger, Druck hergestellt ist, welchen man durch den Quecksilberstand am Manometer messen kann.

Füllt man eine solche Zelle mit einer Zuckerlösung, verschließt sie durch einen durchbohrten Stopfen, durch dessen Bohrung der eine Schenkel eines passend gebogenen Manometers hindurch geht (Fig. 15), so kann man durch Eingießen von Quecksilber in das Manometerrohr im Innern der Zelle einen hohen Druck erzeugen. Die Flüssigkeit filtriert dann durch die Membran hindurch und erscheint in Tropfen auf der Außen-

fläche der Thonzelle. Sie besteht aber aus reinem Wasser; kein Zucker ist durch die Membran hindurchgegangen.

Stellt man die mit Zuckerlösung gefüllte Zelle in ein Gefäß mit reinem Wasser, so beginnt sofort die Osmose. Es diffundiert kein Zucker von innen nach außen, wohl aber dringt Wasser in die Zelle ein; infolgedessen steigt der Druck in ihr, bis eine bestimmte Höhe des Manometerstandes erreicht ist. Dann hört die Osmose auf; es dringt kein Wasser mehr in die Zelle ein. Man nennt den in der Zelle entstandenen Druck den osmotischen Druck der betreffenden Lösung.

19. Osmotischer Druck.

19. Macht man solche Versuche mit verschiedenen Zuckerlösungen, so findet man, dass der osmotische Druck proportional mit der Konzentration der Lösung und proportional mit der absoluten Temperatur steigt. Macht man Versuche mit verschiedenen Stoffen, so findet man für gleiche Konzentration und gleiche Temperatur verschiedene Werte; die obige Gesetzmäßigkeit gilt aber für alle Stoffe und auch für andere Lösungsmittel als Wasser. Bei Stoffen, deren Molekulargewicht bekannt ist, findet man, dass die osmotischen Drucke (bei gleichem Prozentgehalt und gleicher Temperatur) sich verhalten umgekehrt wie die Molekulargewichte der gelösten Stoffe.

Wenn zwei Stoffen A und B die Molekulargewichte m_a und m_b zukommen, so werden n Molekeln von A wiegen $n.\ m_a$ und n Molekeln von B $n.\ m_b$. Die Gewichte einer gleichen Anzahl von Molekeln werden sich also verhalten wie $m_a : m_b$. Wägen wir von jedem dieser Stoffe ein bestimmtes Gewicht, z. B. 1 g ab und lösen diese Menge in je 100 cm^3 Wasser auf, so haben wir einprozentige Lösungen. Aber je schwerer eine Molekel ist, desto geringer muss die Anzahl der Molekeln sein, welche zusammen das Gewicht von 1 g haben. Die Anzahl der in einem bestimmten Flüssigkeitsvolum gelösten Molekeln muss also bei gleichem Prozentgehalt umgekehrt proportional dem Molekulargewicht sein. Wir können deshalb den obigen Erfahrungssatz auch so ausdrücken: Der osmotische Druck ist direkt proportional der Anzahl der in der Volumseinheit gelösten Molekeln und der absoluten Temperatur; oder auch so: Bei gleichem osmotischen Druck und gleicher Temperatur ist in einem gegebenen Volum einer Lösung stets die gleiche Anzahl gelöster Molekeln enthalten.

Die Übereinstimmung dieses Satzes mit dem analogen für die Gase gefundenen (vgl. § 10) deutet darauf hin, dass der Molekularzustand in beiden Fällen ein ähnlicher sein muss. Wie wir uns vorstellen, dass die Molekeln eines Gases in verhältnismäßig großen Abständen voneinander frei hin und her schwingen und auf die sie

einschließenden Wände einen mit der Anzahl der Molekeln wachsenden Druck ausüben, so können wir uns auch denken, dass die Molekeln des gelösten Stoffes innerhalb des Lösungsmittels hin und her schwingen und infolgedessen vermöge der ihnen innewohnenden Energie einen Druck ausüben. Aus dieser Vorstellung lassen sich die Erscheinungen der freien Diffusion der Flüssigkeiten, sowie der Diffusion durch Scheidewände direkt ableiten. Ist aber die Scheidewand zwar für das Lösungsmittel, nicht aber für die gelösten Stoffe durchgängig, dann können verschiedene Fälle eintreten.

Erster Fall: Auf der einen Seite der halbdurchlässigen Membran ist eine Lösung, auf der anderen reines Wasser; letzteres tritt durch die Membran hindurch. Kann im Endosmometer kein Überdruck entstehen, so geht der Wassereintritt immer weiter fort, bis die Konzentration der Lösung unendlich klein geworden ist. Ist aber der Raum, welcher die Lösung enthält, begrenzt, so steigt der Druck bis zu der durch die Anzahl der in der Volumseinheit der Lösung enthaltenen Molekeln bedingten Höhe des osmotischen Druckes Diesen Fall haben wir oben behandelt.

Zweiter Fall: Auf beiden Seiten der halbdurchlässigen Membran befinden sich Lösungen ein und desselben Stoffs. Wasser geht von der verdünnteren Lösung zu der konzentrierten, bis beide gleiche Konzentration haben, oder, wie wir auch sagen können, bis die osmotischen Drucke auf beiden Seiten der Membran gleich sind.

Dritter Fall: In einer Flüssigkeit sind mehrere Stoffe zugleich gelöst; dann kommt jedem von ihnen ein Partialdruck zu, welcher von der Menge der in der Volumseinheit des Lösungsmittels vorhandenen Molekeln dieses Stoffes abhängt. Die Summe dieser Partialdrucke ist der gesamte osmotische Druck der Lösung. Sind auf beiden Seiten einer halbdurchlässigen Membran verschiedene Lösungen, so kommt jeder ein osmotischer Druck zu, gleichgiltig ob derselbe nur von einem gelösten Stoff herrührt oder sich aus mehreren Partialdrucken zusammensetzt. Sind die osmotischen Drucke in zwei durch eine halbdurchlässige Membran getrennten Flüssigkeiten gleich, so nennt man die Flüssigkeiten isotonisch.

Die Erscheinungen werden etwas andere, wenn die trennende Membran nicht bloß für das Lösungsmittel, sondern auch für einen oder mehrere der gelösten Stoffe durchgängig sind. Einen einfachen Fall dieser Art haben wir in § 18 kennen gelernt.

Alle hier kurz beschriebenen Erscheinungen spielen bei gewissen Lebenserscheinungen eine Rolle. Bei Besprechung derselben werden wir Gelegenheit haben, sie und die besonderen Bedingungen, unter denen sie sich abspielen, genauer zu untersuchen.

Siebentes Kapitel.

Lösung und Quellung.

1. Zur Vervollständigung unserer Kenntnis von den physikalischen Eigenschaften der Materie, aus welcher sich die Leibessubstanz der Lebewesen zusammensetzt, bleibt uns noch übrig, etwas von den festen Körpern nachzutragen. Dieselben wurden zwar schon im vorigen Kapitel § 17 beiläufig erwähnt, aber nur im Zustande der Lösung, in welchem sie aufgehört haben, feste Körper zu sein, vielmehr sozusagen Bestandteile der Flüssigkeit geworden sind. 1. Struktur fester Körper.

Im eigentlichen festen Aggregatzustand haben wir uns die Molekeln eines Körpers im allgemeinen noch näher aneinander gerückt zu denken, als dies bei Flüssigkeiten der Fall zu sein scheint.[1]) Sie beeinflussen einander deshalb in noch höherem Grade. Feste Körper haben deshalb eine bestimmte, durch äußere Einwirkungen weniger veränderliche Form, während die Körperform bei Gasen und Flüssigkeiten von den Begrenzungen abhängt, in welche sie eingeschlossen sind. Aus demselben Grunde ist auch das Verhalten gegen Druck, Temperaturveränderungen u. s. w. nicht durch so einfache Gesetzmäßigkeiten darzustellen, wie dies bei den Gasen der Fall ist.

Die Anordnung der Molekeln eines festen Körpers ist zuweilen keine gleichmäßige. Sie kann an verschiedenen Stellen verschieden sein oder in verschiedenen Richtungen Unterschiede aufweisen. In solchen Fällen können äußere Einwirkungen, Druck, Zug u. s. w. in der einen Richtung stärkere Veränderungen hervorrufen als in einer anderen. Sind die Unterschiede der Anordnung mit bloßem Auge oder bei mikroskopischer Untersuchung sichtbar, setzt sich dementsprechend der feste Körper aus Plättchen, Fasern, Körnchen u. s. w. zusammen, dann spricht man von einer Struktur oder einem Bau der Körper.[2]) Man muss

[1]) Dementsprechend sind die spezifischen Gewichte der festen Köper meist hohe; leichter als Wasser sind von den Elementen nur Kalium, Lithium und Natrium.

[2]) Die Bestandteile der höheren Lebewesen weisen in diesem Sinne Struktur auf; diese muss natürlich bei der Betrachtung der in ihnen vor sich gehenden Lebensvorgänge berücksichtigt werden.

sich aber gegenwärtig halten, dass selbst die allerkleinsten, mit den stärksten Vergrößerungen noch eben sichtbaren Körnchen keine Molekeln, sondern Anhäufungen von Molekeln sind, dass selbst in den kleinsten Körnchen oder Fasern noch viele Molekeln nebeneinander liegen. Ist die Lagerung der Molekeln nach den drei Dimensionen des Raumes verschieden, so kann auch die Wirkungssphäre einer jeden Molekel oder kleinen Molekelgruppe innerhalb des sehr kleinen Raumes, auf welchen sie sich erstreckt, nicht gleichmäßig nach allen Richtungen zur Geltung kommen. Denken wir uns eine Molekel oder Molekelgruppe in einem Punkte A im Raum und um diesen Punkt eine Fläche beschrieben, in welcher die von A ausgehenden, andere Molekeln oder Molekelgruppen beeinflussenden Wirkungen gleich stark sind; bei einem vollkommen homogenen Körper, d. h. bei einem solchen, dessen Molekeln oder Molekelgruppen nach allen Richtungen gleich angeordnet sind, muss jene Fläche gleicher Molekularwirkung eine Kugelfläche sein. Ein solcher Körper ist dann auch physikalisch homogen; seine Eigenschaften (Festigkeit, Durchgängigkeit für Licht, Wärme Elektrizität u. s. w.) sind nach allen Richtungen die gleichen. Sind aber die Wirkungen, welche von A ausgehen, nach den drei Richtungen des Raumes verschieden, so nimmt jene Fläche eine verwickelte Form an; wenn die Größe der Wirkung mit der Richtung in regelmäßiger Weise sich ändert, so hat die Fläche gleicher Wirkung die Gestalt eines Ellipsoids. Dementsprechend sind dann auch die physikalischen Eigenschaften nach verschiedenen Richtungen ungleich.

Strukturen sind bei den Bestandteilen, aus denen sich die Leiber der Lebewesen zusammensetzen, den sogenannten Geweben, makroskopisch oder mikroskopisch stets nachweisbar. Ihnen entsprechen physikalische Verschiedenheiten. Ein Würfel von Holz ist in der Richtung seiner Fasern viel leichter spaltbar als in der darauf senkrechten; er leitet die Wärme in der ersteren Richtung besser, wie man durch einen einfachen Versuch zeigen kann. Man überzieht eine, glatt gehobelte, in der Faserrichtung geschnittene Holztafel mit einer dünnen, möglichst gleichmäßigen Schicht von geschmolzenem Wachs. Setzt man auf diese nach dem Erkalten eine heiße Stricknadel, so schmilzt das Wachs rings um dieselbe so weit, als die Fortführung der Wärme genügt, die Temperatur über den Schmelzpunkt des Wachses zu erhöhen. Die Grenzlinie der Schmelzung ist eine Ellipse, deren große Axe mit der Richtung der Holzfasern zusammenfällt.[1]) Aber auch ohne sichtbare Struktur können

[1]) Macht man den Versuch mit einer Metallplatte, welche nach allen Richtungen gleichmäßig leitet, so wird die Schmelzfigur kreisförmig. Macht

Verschiedenheiten auftreten. Löst man Leim in kochendem Wasser, gießt ihn in dünner Schicht auf eine Glasplatte und lässt ihn erkalten, so erhält man eine dünne Lamelle, welche nach allen Richtungen gleichmäßig ist. Sie lässt auch polarisiertes Licht nach allen Richtungen gleichmäßig durch. Wenn aber die Lamelle in einer Richtung etwas gespannt wird, treten sofort Unterschiede hervor; die Lamelle wird doppelbrechend aus demselben Grunde, aus welchem ein Glaswürfel doppelbrechend wird, wenn man ihn in einer Richtung zusammenpresst (siehe Kap. 4 § 4). Wie wir noch sehen werden, müssen wir uns die Leimgallerte bestehend denken aus Molekelgruppen, in denen Leim- und Wassermolekeln innig gemengt sind. Durch den Zug werden diese Gruppen in der Zugrichtung etwas voneinander entfernt, in der darauf senkrechten einander genähert, vielleicht auch die Formen der Gruppen selbst verändert. Infolge dieser Unterschiede in der molekularen Anordnung wird der Durchgang des Lichts in der einen Richtung ein anderer als in der darauf senkrechten.

Doppelbrechung des Lichts wird sehr oft bei Gewebebestandteilen, namentlich faserigen, beobachtet und lässt den Schluss zu, dass die molekulare Anordnung nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene ist.

2. Krystalle und amorphe Körper.

2. Ähnliche Unterschiede der Eigenschaften nach den drei Richtungen des Raumes, wie sie durch Strukturen oder durch äußere Einwirkungen (Zug oder Druck) veranlasst werden, kommen auch in chemisch vollkommen homogenen, d. h. also aus lauter gleichartigen Molekeln bestehenden Körpern vor. Wir müssen also derartigen Körpern gleichfalls eine bestimmte Struktur zuschreiben; nur ist diese nicht mit bloßem Auge, auch nicht durch starke mikroskopische Vergrößerung zu erkennen, wohl aber durch andere physikalische Hilfsmittel (polarisiertes Licht u. s. w.) In solchen Fällen müssen wir annehmen, dass die Unterschiede schon in jeder einzelnen Molekel vorhanden, dass die Wirkungssphären der Molekeln selbst nach den drei Richtungen des Raumes hin verschieden sind. Das hat zur Folge, dass sie sich in ganz bestimmter Weise aneinander legen, wenn sie aus dem flüssigen oder gasförmigen in den festen Zustand übergehn. Dann nimmt der Körper auch äußerlich eine, der Lagerung der Molekeln entsprechende, geometrisch regelmäßige Form an. Körper dieser Art nennt man Krystalle. Die Krystallformen (Oktaëder, Prismen u. s. w.) sind durch ebene, unter bestimmten Winkeln gegeneinander geneigte Flächen charakterisiert; ihnen entsprechend zeigen Krystalle Unterschiede in der Spaltbarkeit, in der Leitungsfähigkeit für Wärme,

man ihn mit einer senkrecht auf die Faserrichtung behobelten Holzplatte (sogenanntem Stirnholz), dann erhält man eine von dem Verlauf der Schichten (Jahresringe) abhängige Figur.

in der Durchlässigkeit für Licht u. s. w. nach verschiedenen Richtungen.

Die Krystallformen sind für viele Stoffe so charakteristisch, dass sie neben den übrigen Eigenschaften zur Erkennung der Stoffe dienen. Sie sind namentlich da, wo wegen der geringen Menge des zur Verfügung stehenden Materials eine vollständige chemische Untersuchung nicht möglich ist, oft von großem Wert, um so mehr, da sie bei sehr kleinen Krystallen sich noch mikroskopisch feststellen lassen. Körper, welche nicht Krystallform annehmen, nennt man amorph.

Im allgemeinen kann man die Regel aufstellen, dass die einfacher gebauten Stoffe (d. h. diejenigen, deren Molekeln aus einer geringen Zahl von Atomen bestehen) leichter krystallisieren als die mehr zusammengesetzten. Daher krystallisieren die in Lebewesen vorkommenden Stoffe seltener. Doch giebt es von dieser Regel bemerkenswerte Ausnahmen.

Ein und derselbe Stoff kann in verschiedenen Krystallformen oder auch amorph vorkommen, was man als Allotropie bezeichnet. Kohlenstoff z. B. kommt in Oktaederformen (als Diamant), in Tafeln und Blättchen des hexagonalen Krystallsystems (als Graphit) und auch amorph vor. Der in der Natur vorkommende Schwefel ist zuweilen schön krystallinisch (Rhombenoktaeder), und gleiche Formen erhält man beim Verdunsten der Lösungen von Schwefel in Schwefelkohlenstoff. Aus geschmolzenem Schwefel dagegen scheiden sich bei langsamem Erkalten Prismen mit rhombischer Basis ab; bei schneller Abkühlung erstarrt der Schwefel amorph. Wie aus diesen Beispielen hervorgeht, können auch einfache Stoffe (Elemente) krystallisieren. Ob die verschiedenen Krystallformen eines und desselben Stoffes durch minimale Verunreinigungen oder nur durch die verschiedenen Umstände, unter denen die Krystallisation erfolgt, bedingt sind, ist im einzelnen Falle oft schwer zu entscheiden. Zusammengesetzte Stoffe, welche analoge chemische Zusammensetzung haben, zeigen häufig gleiche Krystallformen (Isomorphie). Die Lehre von den Krystallformen hat, wie aus diesen kurzen Andeutungen erhellt, große Bedeutung für Physik und Chemie.

Auch innerhalb der Lebewesen entstehen nicht selten Krystalle, wovon gelegentlich Beispiele in den folgenden Kapiteln vorkommen werden.

3. Lösungen.

3. Zu den wesentlichen, für die Erkennung bestimmter fester Stoffe charakteristischen Eigenschaften gehört ihr Verhalten gegen Flüssigkeiten. Manche Stoffe sind in Wasser leicht, andere schwer, noch andere überhaupt nicht löslich. Stoffe, welche in Wasser löslich sind, sind zuweilen vollkommen unlöslich in anderen Flüssigkeiten, z. B. Alkohol und umgekehrt. Wasser, welches schon gewisse Stoffe gelöst enthält, verhält sich anders gegen manche andere Stoffe wie reines Wasser.[1]) Da sowohl Wasser als auch in

[1]) Ganz reines Wasser stellt man her durch sorgfältige, mehrfach wieder-

ihm lösliche Stoffe sehr verbreitet sind, so spielen wässerige Lösungen bei vielen Vorgängen in der unbelebten Natur wie in den Lebensvorgängen eine wichtige Rolle.

Bringt man reines Wasser mit einer verhältnismäßig großen Menge eines löslichen Stoffes zusammen, so wird nur ein Teil desselben gelöst, der Überschuss bleibt unverändert. Eine Lösung, welche gerade so viel von dem gelösten Stoffe aufgenommen hat, als sie unter den vorhandenen Bedingungen aufzunehmen vermag, nennt man gesättigt. Enthält die Lösung so viel von dem gelösten Stoff, dass sie der Sättigung nahe kommt, so nennt man sie konzentriert; ist sie dagegen weit vom Sättigungspunkt entfernt, so heißt sie verdünnt. Um die Menge des gelösten Stoffes genauer anzugeben, rechnet man ihn gewöhnlich auf 100 Teile der Lösung um. Eine 20prozentige Lösung ist also eine solche, die in 100 cm^3 20 g aufgelöst enthält.[1])

Die Löslichkeit ändert sich mit der Temperatur. Meist nimmt sie mit steigender Temperatur zu, doch kommt es auch vor, dass sie bei höheren Temperaturen wieder geringer wird.

Als Beispiele für die Löslichkeit einiger Stoffe in Wasser bei verschiedenen Temperaturen möge die folgende Tabelle dienen, welche angiebt, wie viele Gramm der betreffenden Stoffe in 100 g Wasser löslich sind.

holte Destillation aus Gefäßen, welche durch Wasser nicht angegriffen werden, z. B. Platin. Die ersten und die letzten Portionen, welche die leichter und die schwerer flüchtigen Verunreinigungen enthalten, bleiben unbenutzt. Das von allen gelösten Stoffen befreite Wasser ist ein fast vollkommener Isolator, d. h. es leitet den elektrischen Strom nicht.

[1]) Statt dessen ist auch manchmal gemeint, dass 20 g in 100 g des Lösungsmittels gelöst seien. Bei Wasser sind beide Arten der Bezeichnung nicht wesentlich voneinander verschieden, wohl aber bei einer Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht erheblich von 1 abweicht. Die im Text gebrauchte Sprechweise ist die üblichere.

Wägt man von einem Stoff soviel Gramme ab, als seinem Molekulargewicht entspricht (vergl. hierüber Kap. 8 § 6 ff.), so nennt man diese Menge eine Grammmolekel des betreffenden Stoffs. Dies giebt Veranlassung zu einer anderen Art der Angabe der Konzentration, welche besonders für die Vergleichung von Lösungen verschiedener Stoffe sehr nützlich ist. Man giebt nämlich dasjenige Volum der Lösung an, in welchem eine Grammmolekel des Stoffs enthalten ist, oder statt dessen die Zahl der Grammmolekeln, welche in einem Liter Flüssigkeit gelöst sind. Eine 20prozentige Lösung von Chlornatrium z. B. enthält eine Grammmolekel in 292,5 cm^3 Flüssigkeit, eine 20prozentige Lösung von Chlorkalium dagegen in 372,5 cm^3.

Bei den folgenden Betrachtungen sind ausdrücklich alle diejenigen Fälle ausgeschlossen, in denen durch die Einwirkung der Flüssigkeit auf den festen Körper der letztere in seinem chemischen Bestand verändert wird. Nur dann können wir behaupten, dass die Molekeln des festen Körpers sich zwischen denen der Flüssigkeit verteilen, aber noch ihre molekulare Beschaffenheit unverändert erhalten haben. In diesem Sinne kann man auch die Absorption von Gasen in Flüssigkeiten und die Mischung von Flüssigkeiten unter den Begriff der Lösung einreihen.

Temperatur	Kaliumnitrat	Natriumchlorid	Ammoniumchlorid	Calciumsulfat
0°	13,32	35,52	28,40	0,19
20°	31,20	36,01	37,28	0,21
40°	63,97	36,64	46,16	0,21
60°	110,90	37,25	55,04	0,21
80°	172,00	38,22	63,92	0,20
100°	247,00	39,61	72,80	0,17

Als Beispiel für einen sehr schwer löslichen Stoff sei angeführt, dass 1 Gewichtsteil Chinin zu seiner Lösung 1667 Teile Wasser erfordert.

Beim Erkalten heiß gesättigter Lösungen scheidet sich ein Teil des gelösten Stoffs, beim Verdampfen oder Verdunsten des Lösungsmittels die gesamte gelöste Masse aus, eventuell in Krystallform.

Viele Salze und auch andere Stoffe verbinden sich bei der Lösung in Wasser mit einem Teil desselben; in der Flüssigkeit sind dann nicht die ursprünglichen Stoffe, sondern sogenannte Hydrate gelöst. Bei der Verdunstung bleibt das Hydratwasser an den gelösten Stoff gebunden und kann erst durch stärkeres Erwärmen von demselben getrennt werden. Erfolgt die Ausscheidung in Krystallform, so kann auch eine gewisse Menge von Wasser in molekularer Bindung mit dem krystallisierenden Stoff vereinigt bleiben. Auch dieses Krystallwasser kann erst durch stärkere Erwärmung schnell oder bei längerem Liegen in trockener Luft allmählich von dem Stoff getrennt werden. Dabei wird die Krystallform zerstört; die Krystalle zerfallen zu amorphem Pulver.

4. Eigenschaften der Lösungen.

4. Lösungen unterscheiden sich von dem reinen Lösungsmittel nicht nur in ihren chemischen Eigenschaften, welche von der Natur des gelösten Stoffes abhängen, sondern auch rein physikalisch. Sie haben ein anderes spezifisches Gewicht, anderes Ausdehnungsvermögen, andere Kohäsion, anderes Lichtbrechungsvermögen u. s. w. Besonders zu beachten sind die Änderungen des Siede- und Gefrierpunkts und der elektrischen Leitfähigkeit, weil sich dabei wichtige Gesetzmäßigkeiten herausgestellt haben. Reines Wasser gefriert bei 0°, siedet (bei einem Druck von 760 hg) bei 100°, hat bei 18° eine Dampfspannung von 15,4 mm hg, sein Lichtbrechungsvermögen ist gleich 1,33[1]). Eine Lösung von 25 g Kochsalz in 100 g Wasser dagegen gefriert bei — 4°, siedet bei 105°, ihr Lichtbrechungsvermögen ist = 1,53 u. s. w.

Je größer die Menge des in einer bestimmten Volumeinheit eines Lösungsmittels gelösten festen Stoffes ist, desto mehr ist der Gefrierpunkt erniedrigt, der Siedepunkt erhöht. Wird die Konzentration in Grammmolekeln auf den Liter angegeben, so zeigt sich, dass die Herabsetzung des Gefrierpunktes der Zahl der Gramm-

[1]) Unter Lichtbrechungsvermögen ist das Verhältnis des Sinus des Einfallwinkels zum Sinus des Brechungswinkels beim Übergang eines Lichtstrahls aus dem luftleeren Raum in die betreffende Substanz gemeint.

molekeln proportional ist, ganz unabhängig von der chemischen Natur der gelösten Substanz. Dieses Gesetz gilt für alle Lösungsmittel, für jedes ist aber die auf je eine Grammmolekel berechnete Erniedrigung eine andere Zahl. Für Wasser ist sie = 1,85, für Benzol 5,1 u. s. w.

Das Gleiche gilt für die Erhöhung des Siedepunktes; auch sie ist proportional der Anzahl der in einem Liter gelösten Grammmolekeln. Man findet die Siedepunktserhöhung, wenn man die Zahl der Grammmolekeln mit einem festen Faktor multipliziert. Dieser Faktor ist für Wasser als Lösungsmittel = 0,52, für Benzol = 2,7.

Beide Gesetze gelten nur genau für nicht allzu konzentrierte Lösungen. Arbeitet man dagegen mit verdünnten Lösungen sogenannter Elektrolyte (vgl. Kap. 9 § 3), so hat man zu beachten, dass diese in ihre elektrolytisch trennbaren Bestandteile (Ionten) zerfallen, also die Anzahl der frei in der Flüssigkeit vorhandenen Molekeln größer ist, als die aus dem Molekulargewicht und der Konzentration berechnete[1]).

Nachdem die Gesetze der Erhöhung des Siedepunktes und Erniedrigung des Gefrierpunkts an einer Anzahl von Stoffen, deren Molekulargewicht aus anderen Untersuchungen bekannt war, festgestellt worden sind, kann man umgekehrt die Erniedrigung des Gefrierpunkts oder die Erhöhung des Siedepunkts benutzen, um das Molekulargewicht einer Verbindung, deren chemische Konstitution noch unbekannt ist, zu bestimmen. Vgl. hierüber Kap. 8 § 14.

Kühlt man verdünnte Lösungen langsam ab, so gefriert zunächst, wenn die Temperatur unter den Gefrierpunkt des Lösungsmittels gesunken ist, ein Teil des Lösungsmittels, die Lösung wird also konzentrierter. Indem dadurch der Gefrierpunkt tiefer gelegt wird, bleibt der Rest des gelösten Stoffs in Lösung. Kühlt man weiter ab, so wiederholt sich der Vorgang, bis die Lösung für die betreffende Temperatur gesättigt ist. Erst dann erstarrt die ganze Masse. Beim Auftauen schmilzt zuerst das Lösungsmittel und löst nach und nach den ausgeschiedenen Stoff wieder auf.

Dieser Vorgang spielt wahrscheinlich eine Rolle bei der Einwirkung niederer Temperaturen auf lebende Substanzen. Wie wir sehen werden, sind letztere in der Regel mit verdünnten Lösungen von allerlei anorganischen und organischen Stoffen durchtränkt. Lässt man sie gefrieren und wieder auftauen, so kann das aus dem ausgefrorenen Eis entstehende reine Wasser schädigend auf die geformten Bestandteile der Gewebe einwirken. So erklärt es sich, warum gefrorene lebende Substanzen bei schnellem Auftauen sehr häufig getötet werden, während sie bei langsamem Auftauen, wo das Wasser Zeit hat die ausgeschiedenen Stoffe

[1]) Bei sehr verdünnten Lösungen zerfallen alle Molekeln vollständig; dann ist die Zahl der Grammmolekeln mit 2 zu multiplizieren.

wieder zu lösen, ungeschädigt bleiben. Die Gärtner wissen das sehr gut; daher die Regel, gefrorene Pflanzen an einem Orte, dessen Temperatur nur wenig über 0^0 steigt, langsam auftauen zu lassen.

Manche Stoffe sind nur in Wasser, andere nicht in Wasser, wohl aber in Alkohol, andere in Alkohol und Äther u. s. w. löslich. Das ist praktisch wichtig, z. B. auch für die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung, weil man für jeden Stoff das für ihn geeignete Lösungsmittel benutzen kann[1]). Die Lösungsverhältnisse dienen aber auch als charakteristische Eigenschaften zur Beschreibung der Stoffe und bieten oft Mittel, aus Gemengen die einzelnen Stoffe voneinander zu sondern. Aus einem Gemenge z. B., dessen Bestandteile zum Teil nur in Wasser, zum Teil nur in Alkohol löslich sind, kann man zuerst durch Behandlung mit Wasser die in diesem löslichen Stoffe extrahieren. Löst man eine andere Portion in Alkohol und versetzt die Lösung mit sehr viel Wasser, so bleiben nur diejenigen Stoffe in Lösung, welche sowohl in Wasser wie in Alkohol (oder in sehr verdünntem Alkohol) löslich sind, während die nur in Alkohol löslichen Stoffe ausgefällt oder niedergeschlagen werden. Derartige Verfahren dienen zur vorläufigen Trennung der Stoffe als wichtige Vorbereitung bei vielen chemischen Untersuchungen[2]).

Von den für die physiologische Chemie wichtigen Proteinstoffen, welche in Kap. 10 ausführlich besprochen werden, sind manche in reinem Wasser löslich, andere nur in Wasser, das schon gewisse Salze gelöst enthält, wieder andere werden aus ihren wässerigen Lösungen gefällt, wenn man ihnen gewisse Salze zusetzt. Dieses Aussalzen ist deshalb ein Mittel, die Stoffe von anderen, neben ihnen gelösten zu trennen.

5. Unechte Lösungen.

5. Die Lösungen vieler organischer und einiger weniger unorganischer Stoffe weichen in ihrem Verhalten wesentlich von dem aller übrigen, in gewöhnlichem Sinne als löslich bezeichneten Stoffe ab. Löst man Kochsalz, Zucker oder einen anderen dieser letzteren Stoffe in Wasser, so ist die Lösung wasserklar und vollkommen durchsichtig. Ist der gelöste Körper gefärbt, dann ist es auch die Lösung; sie absorbiert einen Teil des durch sie gehenden Lichtes und lässt nur Licht von bestimmten Farben durch; aber die Umrisse

[1]) Deshalb haben wir oben neben dem Wasser immer noch das Benzol als Beispiel eines anderen Lösungsmittels genannt.

[2]) Hiervon wohl zu unterscheiden sind die Fälle, in denen Stoffe durch chemische Veränderung aus ihren Lösungen niedergeschlagen oder gefällt werden. Setzt man Schwefelsäure zu einer Lösung von Baryumhydroxyd, so entsteht unlösliches Baryumsulfat, und alles Baryum wird als Sulfat ausgefällt. Manche Proteinstoffe gehen durch Erwärmen in eine unlösliche Modifikation über; darum kann man aus einer Albuminlösung alles Albumin ausfällen, wenn man sie auf etwa 75^0 erwärmt. Über diese Vorgänge s. mehr in den Kapiteln 9 und 10.

der durch sie hindurch gesehenen Gegenstände sind scharf begrenzt und deutlich. Lösungen jener anderen Stoffe aber, als deren Typus wir Eiweiß ansehen können, sind trübe, bei stärkerer Verdünnung opalisierend. Lässt man starkes Licht in sie hineinfallen, so kann man den Gang der Strahlen sehen, ein Beweis, dass das Licht zum Teil von kleinen in der Flüssigkeit befindlichen Körperchen zerstreut reflektiert wird. Der Anteil, welcher hindurchgeht, erleidet an den Rändern dieser Körperchen Veränderungen durch Beugung. Alles dies erweckt die Vermutung, dass der gelöste Stoff nicht, wie es sonst bei Lösungen der Fall ist, in seine Molekeln zerlegt ist, welche einzeln in der Flüssigkeit verteilt sind, sondern in größeren Molekelkomplexen vereinigt bleibt, welche in der angegebenen Weise auf das Licht wirken.

Tröpfelt man von einer alkoholischen Lösung eines in Wasser unlöslichen Körpers, z. B. eines Harzes, geringe Mengen langsam unter stetigem Umrühren in Wasser, so scheidet sich das Harz in Form sehr feiner Partikelchen aus, welche wegen ihres geringen spezifischen Gewichts im Wasser schweben. Eine solche Flüssigkeit opalisiert, sie ist nicht vollkommen durchsichtig; wenn man durch dünne Schichten derselben hindurch Gegenstände betrachtet, so erscheinen dieselben verschwommen, mit undeutlichen Konturen. Von hellem durchfallenden Licht werden die brechbareren (blauen und violetten) Strahlen stärker absorbiert als die roten, von auffallendem Licht die roten Strahlen in stärkerem Verhältnis reflektiert als die blauen. Lässt man ein Bündel intensiver Lichtstrahlen in eine solche Flüssigkeit fallen, so kann man den Gang derselben wegen der zerstreuten Reflexion an den schwebenden Partikelchen verfolgen aus demselben Grunde, aus welchem man den Gang der Lichtstrahlen an den Sonnenstäubchen verfolgen kann, welche in der Luft schweben. Da sich die Lösungen von Eiweiß und anderen ihm ähnlichen Stoffen ganz ebenso verhalten, so kann man annehmen, dass dies auf den gleichen Bedingungen beruht.

Aus diesem optischen Verhalten müssen wir also den Schluss ziehen, dass solche Stoffe nicht eigentlich gelöst sind, wenigstens nicht in der Weise, wie es sonst bei löslichen Körpern der Fall ist. Wir nennen daher Lösungen dieser Art unechte. Sie zeigen auch sonst noch gewisse Besonderheiten in ihren physikalischen Eigenschaften. Auffallend ist namentlich die große Zunahme in der Zähigkeit, welche konzentrierteren Lösungen die Eigenschaft des Fadenziehens verleiht[1]).

[1]) Von der Zähigkeit oder Kohäsion der Flüssigkeiten, d. h. der Festigkeit, mit welcher die Molekeln derselben aneinander haften, hängt u. a. auch die Geschwindigkeit ab, mit welcher sie bei gleichen Druckverhältnissen durch enge Röhren strömen. Da Blut eine Lösung von vielen Stoffen ist, unter denen sich

Ähnlich wie Eiweiß verhalten sich von organischen Stoffen Leim, die Schleimstoffe oder Mucine, die Gummiarten, Dextrin; von anorganischen die Hydrate der Kieselsäure, der Thonerde. Sie alle bilden eine Gruppe, welche sich auch in anderen physikalischen Eigenschaften scharf von denjenigen Stoffen, welche echte Lösungen geben, unterscheiden. Da die große Mehrzahl der letzteren sich aus ihren Lösungen häufig in krystallinischer Form ausscheiden, die ersteren aber (mit sehr wenigen Ausnahmen) überhaupt nicht zu krystallisieren vermögen, so hat man den einen den Namen Krystalloide, den anderen den Namen Kolloide (von Colla, Leim) gegeben.

Übergießt man einen krystalloiden Stoff, z. B. Chlornatrium, mit einer Menge von Wasser, welche nicht ausreicht, alles zu lösen, so bleibt der Überschuss unverändert. Wenn man die Lösung abgießt, bleibt ein Brei zurück, welcher aus Kochsalz und der zwischen den festen Partikelchen durch Kapillarattraktion zurückgehaltenen Lösung besteht. Breitet man diesen Brei in flacher Schicht auf Fließpapier oder auf Tellern aus schwach gebranntem Thon aus, so kann man alle Flüssigkeit absaugen; zuletzt bleibt das Kochsalz, welches nicht gelöst war, unverändert zurück.

Kolloidsubstanzen verhalten sich unter den gleichen Umständen anders; Serumalbumin z. B. stellt in reinem, trockenem Zustand einen weißen, ziemlich spröden Körper dar. Zerreibt man ihn in einem Mörser zu einem feinen Pulver und übergießt dies mit Wasser, rührt öfter mit einem Glasstab um und lässt absitzen, so erweist sich die über dem Bodensatz stehende Flüssigkeit als eine unechte Lösung mit allen oben geschilderten Eigenschaften einer solchen. Der Bodensatz ist aber kein Pulver mehr; er ist eine weiche, gallertige Masse. Versucht man, ihm in der angegebenen Weise durch Absaugen mit Fließpapier den flüssigen Anteil zu entziehen, so gelingt dies nur unvollkommen. Erst durch langes Trocknen an der Luft, schneller bei höherer Temperatur oder im luftleeren Raum kann man ihm sein Wasser entziehen. Man erhält aber dann kein Pulver, sondern eine zusammenhängende, hornähnliche Masse, und erst durch neues Pulverisieren kann er wieder in den Zustand gebracht werden, den er vor der Berührung mit dem Wasser hatte.

6. Quellung.

6. Bringt man ein wenig gepulvertes Serumalbumin auf einem Objektträger unter das Mikroskop und fügt Wasser hinzu, so sieht man, dass das Wasser in die Körnchen eindringt, dass diese sich vergrößern und schließlich, wenn zwei zur Berührung kommen, miteinander verkleben. Man nennt diesen Vorgang Quellung.

---

auch die im Text besprochenen befinden, so ist der Einfluss der großen Zähigkeit bei der Lehre von der Blutbewegung besonders zu berücksichtigen.

Um den Vorgang in größerem Maßstab zu beobachten, legen wir einige dünne Leimtafeln, wie sie unter dem Namen Gelatine käuflich sind, in Wasser. Der Leim saugt einen Teil des Wassers auf und nimmt dadurch an Volum zu. Die Volumszunahme durch Quellung kann unter Umständen erhebliche mechanische Leistungen hervorbringen. Hölzerne Keile, in Bohrlöcher von Steinen eingetrieben und dann benetzt, vermögen die Steine zu sprengen; Schädel werden in ihre einzelnen Knochen gesprengt, indem man den Schädelhohlraum mit Erbsen füllt und dann das Ganze in Wasser legt.

Kocht man den gequollenen Leim mit wenig Wasser, so löst er sich zu einer zähen Flüssigkeit, einer unechten Lösung mit allen charakteristischen Eigenschaften einer solchen. Lässt man die Lösung erkalten, so gelatiniert sie. Die Lösung wird fest, aber die Masse ist nicht spröde wie der ursprünglich zu dem Versuch benutzte Leim. Sie hält alles bei der Quellung aufgenommene und zur Lösung erforderlich gewesene Wasser in inniger Mischung mit der festen Masse zurück. Diese neue Substanz unterscheidet sich von sonstigen festen Körpern durch einige wesentliche Merkmale.

Feste Körper kann man durch Druck, Zug, Drehung u. s. w. verbiegen, zerbrechen oder zerreißen. Unsere Leimgallerte ist verhältnismäßig leicht zerreißlich. Ein losgerissenes Bruchstück hat, wie es auch sonst bei festen Körpern der Fall zu sein pflegt, zackige Ränder und eine bestimmte Form. Legt man ein solches Stück auf eine Glasplatte, so runden sich nach und nach die Zacken ab, die nicht unterstützten Teile sinken langsam, und schließlich nimmt das Stück die Form eines flachen, glattrandigen Tropfens an. Eine solche Gallerte ist also nicht eigentlich fest; sie verhält sich einigermaßen wie eine Flüssigkeit, unterscheidet sich aber von einer solchen durch die Langsamkeit, mit der die Verschiebung der Molekeln gegeneinander sich vollzieht.

Ähnliche Erscheinungen beobachtet man auch an einigen anderen festen Stoffen, Pech, Siegellack u. dergl. bei Temperaturen, die nicht sehr weit unter ihrem Schmelzpunkt liegen. Sie werden, ehe sie schmelzen, weich und biegsam. Legt man in einem warmen Zimmer eine Stange Siegellack mit ihren Enden auf zwei Klötze, so biegt sie sich durch ihre eigene Schwere; die Mitte sinkt langsam herunter. Hängt man mittelst eines um die Mitte der Stange geschlungenen dünnen Drahtes ein Gewicht an dieselbe, so dringt der Draht langsam in den Siegellack ein und schneidet ihn endlich ganz durch, so dass das Gewicht herunterfällt; aber die Schnittflächen verkleben hinter dem Draht wieder, so dass die Stange nicht in zwei Hälften zerfällt. Der Versuch gelingt um so leichter, je höher die Temperatur des Zimmers ist. Auch bei

anderen festen Körpern kann man ähnliche Erscheinungen sehen, doch bedarf es dazu sehr starker Drucke.

Wir ersehen aus dem Gesagten, dass Kolloidstoffe durch Aufnahme von Wasser oder durch Quellung, wie wir es genannt haben, in einen Zustand geraten, welcher gleichsam die Mitte zwischen dem festen und dem flüssigen Aggregatzustand innehält, den wir deshalb den halbflüssigen nennen wollen. Er findet sich häufig bei den lebenden Substanzen. Viele Erscheinungen an diesen werden verständlich, wenn man sich die Eigenschaften der halbflüssigen Körper recht klar gemacht hat. Das Wesen der Quellung besteht darin, dass die Molekeln des Wassers zwischen die Molekeln der kolloiden Substanzen eindringen und mit diesen neue, eigenartige Molekelkomplexe bilden[1]). Das zeigt sich auch deutlich, wenn man kolloide Substanzen aus ihren Lösungen ausfällt. Erzeugt man in einer echten Lösung einen Niederschlag, entweder indem man einen Teil des Wassers verdampft, oder indem man zu einem in Wasser löslichen, aber in Alkohol unlöslichen Stoff reichlich Alkohol zusetzt, so fällt der gelöste Stoff in demjenigen Zustand aus, in welchem er gelöst war, d. h. wasserfrei oder mit Hydratwasser[2]). Kolloidstoffe dagegen fallen aus Lösungen stets im gequollenen Zustand aus; sie reißen von dem Wasser, in welchem sie gelöst sind, so viel an sich, dass zuweilen, wenn die Lösung konzentriert war, die ganze Masse fest wird. Man sieht das deutlich, wenn man das Weiße eines Vogeleies erwärmt. Das bei Erwärmung auf etwas über 70° unlöslich werdende Albumin nimmt das ganze Lösungswasser als Quellungswasser in sich auf. Ganz ebenso ist es bei Erwärmung von Blutserum; auch dieses erstarrt, weil das unlöslich gewordene Serumalbumin, welches dem Eieralbumin sehr ähnlich ist, alles vorhandene Wasser in sich einschließt. Auch das Festwerden des Blutes bei Ausscheidung des in ihm entstehenden Fibrins und die Ausscheidung des Kaseins aus der Milch sind analoge Vorgänge. Man nennt alle Vorgänge dieser Art Gerinnungen[3]).

Nach dem Gesagten werden wir uns von dem halbflüssigen Aggregatzustand folgende Vorstellung zu machen haben. Die Molekeln der kolloiden Substanz bilden zusammen mit den zwischen ihnen

---

[1]) Das Gleiche gilt auch für nicht in Wasser, aber in anderen Flüssigkeiten quellbare kolloide Substanzen, z. B. Kautschuk in Alkohol, Äther, Chloroform, Schwefelkohlenstoff; Harze in Alkohol u. s. w.

[2]) Der Niederschlag kann auch krystallinisch sein und dann eventuell Krystallwasser enthalten. Um die Verhältnisse nicht zu sehr zu komplizieren, haben wir von den Fällen abgesehen, in denen durch einen Zusatz zu der Lösung der gelöste Stoff eine chemische Umwandlung erfährt.

[3]) Über die verschiedenen hier genannten Stoffe ist näheres im zehnten Kapitel nachzusehen.

liegenden Wassermolekeln größere Anhäufungen, Molekelkomplexe, welche in dem Lösungsmittel verteilt sind. Die Größe dieser Molekelkomplexe kann sehr verschieden sein. Sind sie klein und ihre Abstände voneinander relativ groß, dann stellen sie eine unechte Lösung dar. Sind sie größer und dichter gelagert, dann hat die Masse die Beschaffenheit eines mit Flüssigkeit getränkten Schwammes; die festen, gequollenen Molekelkomplexe bilden dann eine Art von Gerüst, welches von zusammenhängenden, mit Flüssigkeit erfüllten Hohlräumen durchzogen ist. Das ist der eigentliche halbflüssige Aggregatzustand, welcher aber je nach dem Verhältnis zwischen fester und flüssiger Substanz alle möglichen Übergangsstufen zwischen dem rein flüssigen und dem rein festen aufweisen kann.

Poröse, d. h. feste, von engen Hohlräumen und Kanälen durchsetzte Körper können, auch wenn sie nicht aus quellungsfähiger Substanz bestehen, durch Kapillarwirkung Wasser aufnehmen. Man darf diese Art der Imbibition, wie sie bei Gips, Bimsstein u. a. eintritt, nicht mit der Quellung verwechseln. Das Wasser tritt dabei in schon vorhandene Hohlräume ein, indem es die in diesen enthaltene Luft verdrängt. Deswegen ändert sich auch, wenn die Wandungen jener Hohlräume nicht quellungsfähig sind, das Volum und die Form des festen Körpers durch die Wasseraufnahme nicht. Ist ein quellungsfähiger Körper von Hohlräumen durchsetzt, so wird das Wasser anfangs in diese eindringen, dann aber auch in die Substanz selbst; letztere wird durch echte Quellung an Volum zunehmen, aber zum Teil auf Kosten der Hohlräume, welche dadurch verengert werden und schließlich ganz verschwinden. Beim Trocknen können dann wieder neue Hohlräume, Risse und Sprünge entstehen, wie dies nicht selten an Massen, die von Lebewesen herstammen, beobachtet wird[1]).

Man kann den gequollenen Kolloiden einen Teil ihres Quellungswassers durch Auspressen entziehen. Noch etwas mehr Wasser verlieren sie durch längeres Verweilen in trockener Luft oder im luftleeren Raum. Man nennt sie dann lufttrocken. Um ihnen aber den letzten Rest des in sie eingedrungenen Wassers zu entziehen, muss man sie längere Zeit einer Temperatur von mindestens 110° aussetzen.

7. Die lebende Substanz, d. h. diejenige, an welcher sich die Lebenserscheinungen abspielen, zeigt, wie gesagt, die Eigenschaften des halbflüssigen Aggregatzustandes. Drei Umstände sind besonders zu beachten. Erstens: halbflüssige Gebilde sind durch Zug- und Druckkräfte leicht deformierbar, gleichgiltig ob diese 7. Osmose der Kolloide.

[1]) Ähnliche Erscheinungen zeigen Harze und andere Substanzen, welche in Alkohol quellen, bei Verdunstung des Alkohols ihr Volum vermindern und dann gleichfalls Risse und Sprünge bekommen.

Kräfte von außen auf sie einwirken oder die Energie innerhalb der Masse selbst auftritt. Auf diese Weise kommen die für die Lebenserscheinungen charakteristischen Eigenbewegungen der lebendigen Substanz zu stande. Zweitens: wegen der vollkommenen Durchtränkung der lebendigen Substanz können in dem Quellungswasser Diffusionsvorgänge gerade so stattfinden wie in eigentlichen Flüssigkeiten; Gase und gelöste Stoffe werden fortwährend zwischen der lebendigen Substanz und der Umgebung ausgetauscht. Drittens: durch diese Diffusionsvorgänge kommen allerlei Stoffe, namentlich Sauerstoff in molekulare Berührung mit den organischen Stoffen, aus denen die lebendige Substanz sich zusammensetzt; es können in dieser chemische Umsetzungen herbeigeführt, die Umsetzungsprodukte nach außen abgegeben und neue Stoffe zur Unterhaltung der chemischen Prozesse von außen zugeführt werden.

Wie schon im Kap. 6 § 17 hervorgehoben wurde, ist bei der freien Diffusion zweier Flüssigkeiten ineinander die Geschwindigkeit, mit welcher die Molekeln eines Stoffes sich ausbreiten, für verschiedene Stoffe sehr verschieden. Kolloidale Stoffe haben alle eine sehr geringe Diffusionsgeschwindigkeit. Erfolgt die Diffusion durch poröse Scheidewände wie Thonplatten u. dgl., so ist die Geschwindigkeit in den engen Kanälen noch mehr herabgesetzt, und wenn die Kanäle sehr eng sind, wie in tierischen Membranen, Papier, vegetabilischem Pergament u. dgl., so kann die Diffusionsgeschwindigkeit so weit herabgesetzt sein, dass innerhalb einer Zeit von 24—48 Stunden fast nichts von dem kolloidalen Körper durch die Membran hindurchgeht. Eine solche Membran verhält sich den Kolloidstoffen gegenüber ähnlich wie eine halbdurchlässige Membran (Kap. 6 § 18), während sie doch für krystalloide Stoffe durchgängig ist.

Um dies zu zeigen, füllt man in ein Endosmometer (Fig. 14, S. 141) eine Eiweißlösung und taucht dasselbe mit seinem unteren, durch vegetabilisches Pergament geschlossenen Ende in ein größeres Gefäß mit Wasser. Letzteres diffundiert durch die Membran zur Eiweißlösung, wie sich leicht dadurch zeigt, dass das Niveau in der Steigröhre des Endosmometers rasch ansteigt. Dagegen wandert kein oder doch kaum etwas von dem Eiweiß in entgegengesetzter Richtung durch die Membran. Das Wasser bleibt vollkommen klar; selbst nach längerer Zeit kann man durch chemische Reagentien kein Eiweiß in ihm nachweisen. Man sagt deshalb, Eiweiß sei nicht diffusibel. In demselben Sinne sind auch andere in den Lebewesen vorkommende wichtige Stoffe nicht diffusibel. Das verschiedene Verhalten dieser und der mit ihnen gemischten krystalloiden Stoffe muss bei der Betrachtung der Stoffwanderungen, welche während der Lebensvorgänge stattfinden, berücksichtigt werden.

Sind in der Flüssigkeit des Endosmometers neben kolloiden Stoffen auch krystalloide gelöst, so diffundieren diese durch die Membran. Man kann das benutzen, um aus Gemengen von kolloiden und krystalloiden Stoffen die letzteren zu entfernen. Das Verfahren wird als Dialyse bezeichnet.

Ein zu diesem Zweck brauchbarer Dialysator (Fig. 16) besteht aus einem niedrigen cylindrischen Behälter *A*, dessen Boden von Pergamentpapier gebildet wird. Gießt man in den Behälter eine Eiweißlösung, welche außer dem Eiweiß noch irgend welche krystalloide Substanzen enthält, und lässt den Behälter auf dem in dem größeren Gefäß *B* enthaltenen Wasser schwimmen, so diffundieren alle krystalloiden Stoffe in dieses Wasser hinüber; in *A* bleibt zuletzt eine reine Eiweißlösung zurück.

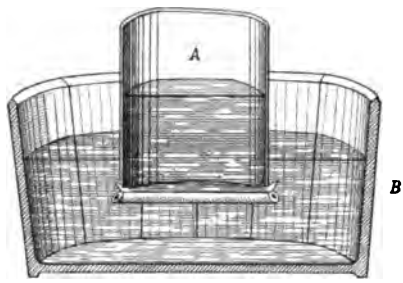


Fig. 16.
Dialysator.
Das unten durch eine Haut von veget. Pergament verschlossene Gefäß *A* enthält Wasser, in welchem krystalloide und kolloide Stoffe gelöst sind; das Gefäß *B* enthält reines Wasser. Die krystalloiden Stoffe diffundieren durch die Scheidewand, die kolloiden Stoffe bleiben in *A* zurück.

Ist der Raum, in welchem sich eine Lösung befindet, geschlossen und von einer weniger konzentrierten Lösung umgeben, so wird mehr Wasser in den Raum eindringen, als austreten kann. So wird entweder das Volum zunehmen, oder, wenn die Wände nicht ausdehnungsfähig sind, der Druck steigen. Das Umgekehrte wird stattfinden, wenn die Lösung im Binnenraum weniger konzentriert ist als die äußere Lösung. Wenn man eine Schweinsblase zum Teil mit einer Salzlösung füllt, zubindet und die schlaffe Blase in Wasser legt, so schwillt sie an, weil das Wasser schneller in sie eindringt, als die Salzlösung nach außen diffundiert. Dasselbe geschieht, wenn eine mit Alkohol gefüllte Blase in Wasser gelegt wird, weil Alkohol langsamer durch tierische Membranen diffundiert als Wasser. Aber neben der Natur der Flüssigkeiten hat auch die Beschaffenheit der Membran Einfluss auf die Geschwindigkeit der Diffusionsbewegung. Denn wenn man Alkohol und Wasser durch eine dünne Kautschukmembran trennt, so geht der Alkohol schneller durch die Membran als das Wasser.

Bei Untersuchung ähnlicher Vorgänge an Pflanzen ist man auf diese Erscheinungen aufmerksam geworden und hat den Fall, wo das Volum oder der Druck in einem geschlossenen Raum zunimmt, Endosmose, den entgegengesetzten Fall Exosmose genannt.

8. Osmose an Pflanzenzellen.

8. Die halbflüssigen Massen, an denen sich die eigentlichen Lebensvorgänge abspielen, bestehen aus einem innigen Gemenge kolloider Substanzen mit Wasser, in welchem krystalloide Stoffe gelöst sind. Ohne den späteren Erörterungen über die Beschaffenheit dieser Massen vorzugreifen, möge vorerst die Bemerkung genügen, dass sie zu kleinen Klümpchen vereinigt vorkommen und dass diese, welche man Zellen nennt, von einer, verschiedene krystalloide und kolloide Stoffe enthaltenden Lösung umspült werden. Die aus vielen Stoffen bestehende Masse dieser Klümpchen wird Protoplasma genannt. Zuweilen, namentlich bei Pflanzenzellen, sind diese Protoplasmaklümpchen noch von einer besonderen Schicht einer anders zusammengesetzten Substanz, der Zellhaut oder Zellmembran, umhüllt.

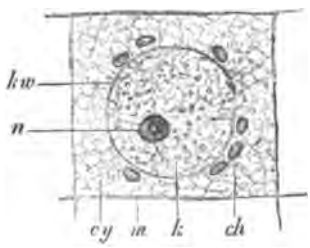


Fig. 17.

Junge Pflanzenzelle mit Membran (*m*), Kern (*k*) und Protoplasma oder Cytoplasma (*cy*), welches die Zelle ganz erfüllt. Die anderen Bestandteile der Zelle werden später Besprechung finden.

Fig. 17 stellt eine Pflanzenzelle dar, welche noch ganz von Protoplasma erfüllt ist[1]). Die Zellmembran (*m*) besteht aus einer Substanz, welche Cellulose genannt wird. Ihre physikalischen Eigenschaften sind ähnlich denen einer dünnen Membran von vegetabilischem Pergament, welche auch aus Cellulose besteht. Sie ist für Wasser und gelöste krystalloide Stoffe leicht, für kolloide Stoffe schwer durchgängig. Der Inhalt der Zelle aber, das halbflüssige Protoplasma, verhält sich in vielen Stücken wie eine halbdurchlässige Substanz. Er nimmt Wasser auf oder giebt es ab, aber im Wasser gelöste Stoffe können nur schwer, manche gar nicht in ihn eindringen[2]).

Wenn eine solche Zelle wächst, so vermehrt sich ihr Wassergehalt durch Aufnahme von außen erheblich, das Protoplasma nimmt aber nur wenig zu. Infolgedessen kann nicht alle Flüssigkeit in der kolloiden Substanz imbibiert sein; der Zellinhalt sondert sich in einen flüssigen Teil, den Zellsaft und einen festen (oder richtiger halbflüssigen), das eigentliche Protoplasma. Der Zellsaft

[1]) Von den im Innern der Zelle außerdem noch vorhandenen Bestandteilen, dem Zellkern u. s. w., sehen wir vorerst ab.

[2]) Das Verhalten des Protoplasmas gegen verschiedene Stoffe ist wahrscheinlich durch chemische Beziehungen bedingt. Darum ist es auch bei verschiedenen Zellen nicht immer gleich. Die Erfahrungen auf diesem Gebiet sind noch sehr lückenhaft, da es erst seit kurzer Zeit der experimentellen Untersuchung zugänglich geworden ist. Einige hierauf bezügliche Thatsachen werden im Laufe der weiteren Darstellung ihre Stelle finden.

sammelt sich dann in einer oder mehreren Höhlen, sogenannten Vakuolen, während das Protoplasma auf einen Wandbelag oder (bei geringerem relativen Gehalt an Zellsaft) auf diesen und eine Anzahl vonihm ausgehender Stränge zusammengedrängt ist, wie es Fig. 18 *A* und *B* zeigt.

Die Größe der Vakuolen hängt von dem Verhältnis der Flüssigkeit zu der quellungsfähigen Masse ab. Ob die überschüssige Flüssigkeit in einer großen oder in mehreren kleinen Vakuolen sich sammelt, ist neben anderen Umständen hauptsächlich durch die Zähigkeit des Protoplasmas bedingt. Die angeführten Beispiele betreffen Zellen mit festen Wänden, welche einen großen Druck auszuhalten vermögen. Bei Zellen, die weniger starke oder gar keine festen Umhüllungen haben, kann es zu so großen Vakuolenbildungen nicht kommen. Bei ihnen würde alle über ein gewisses Maß hinausgehende Flüssigkeit die protoplasmatische Hülle sprengen und somit aus der Zelle austreten.

In einer Pflanzenzelle von der Beschaffenheit, wie sie Fig. 18 *B* darstellt, herrscht ein bestimmter osmotischer Druck, welcher von der Konzentration ihres Zellsaftes abhängt. In der Lage, welche die Zelle im Körper der Pflanze gehabt hat, umgeben von anderen Zellen und umspült von den Flüssigkeiten, welche die Zellen voneinander trennen, musste sich der Zellinhalt in seinem osmotischen Druck mit dieser Umgebung ins Gleichgewicht gesetzt haben. Ist die Zelle aus dieser losgelöst, so kann man den in ihr herrschenden osmotischen Druck bestimmen, indem man sie in Lösungen von verschiedenen Konzentrationen bringt.

Der Erfolg einer solchen Untersuchung wird durch Fig. 19 (S. 162) dargestellt. Sie zeigt in No. 1 eine noch nicht ganz ausgewachsene Pflanzenzelle. In eine 4prozentige Salpeterlösung verbracht, nahm die Zelle die in No. 2 dargestellte Form an; sie hat Wasser abgegeben und sich infolge der Elastizität

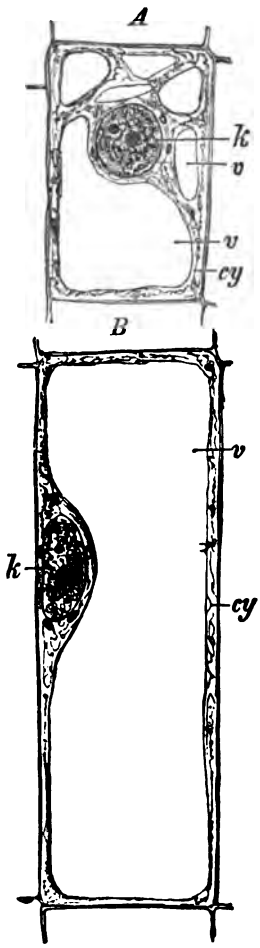


Fig. 18.

Zwei ältere Pflanzenzellen.

In beiden hat mit dem Wachstum die Menge des Zellsafts erheblich zugenommen, viel weniger die des Protoplasmas. Daher ist letzteres bei *B* in einem dünnen Wandbelag, bei *A* in einem solchen und einer Anzahl von Protoplasmasträngen zusammengedrängt, während der Zellsaft bei *A* in mehreren kleinen, bei *B* in einer großen Vakuole enthalten ist. *k* Kern, *v* Vakuole, *cy* Protoplasma.

ihrer Cellulosemembran etwas verkleinert. In 6prozentiger Lösung hat der Zellsaft durch Wasserabgabe noch mehr an Volum abgenommen; der Protoplasmaschlauch hat sich von der Cellulosemembran zurückgezogen. In Nr. 4 endlich, unter Einwirkung einer 10-prozentigen Lösung, war dies noch deutlicher. Diese Erscheinung wurde von DE VRIES genauer untersucht, welcher ihr den Namen Plasmolyse beigelegt hat.

Es ist klar, dass schon die 4%ige Salpeterlösung einen höheren osmotischen Druck haben muss als der ursprüngliche Zellsaft, da die Zelle schon an sie Wasser abgab. Sucht man die Konzentration einer Lösung auf, bei welcher eben die ersten Spuren einer Gestaltveränderung auftreten, während eine nur wenig verdünntere Lösung keine Veränderung

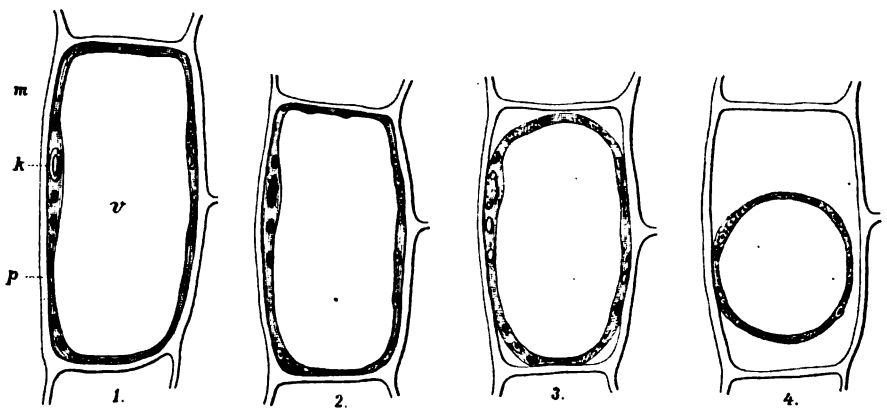


Fig. 19.

Plasmolyse. Veränderungen einer Pflanzenzelle unter der Einwirkung von Salpeterlösungen verschiedener Konzentration, *m* Membran, *k* Kern, *p* Protoplasma. 1 ursprünglicher Zustand; 2 in 4%, 3 in 6% und 4 in 10% Lösung.

der Zelle bewirkt, so muss diese Lösung mit dem Zellsaft nahezu isotonisch sein. Durch derartige Versuche hat man z. B. gefunden, dass die Epidermiszellen der Mittelrippe von der unteren Blattseite von *Tradescantia discolor* die ersten Spuren der Plasmolyse zeigen in einer Lösung von Kalisalpeter, welche 0,13 Grammmolekeln im Liter enthält. Wendet man dagegen Rohrzuckerlösungen an, so bedarf es dazu einer Lösung, welche 0,22 Grammmolekeln im Liter enthält. Da verdünnte Salpeterlösungen in ihre Jonten zerfallen (s. S. 151 und 191), so müsste, falls die Dissoziation eine vollkommene wäre, das Verhältnis sein wie 0,13 : 0,26 (weiteres s. im Anhang).

Der Wasserverlust der Zellen kann auch durch Verdunstung zu stande kommen; die Pflanzengewebe schrumpfen dabei, sie werden welk

oder verlieren ihren Turgor. Wie aus Fig. 19 ersichtlich ist, ist die Cellulosehülle bei dem natürlichen osmotischen Druck der Zelle über ihr natürliches Volum gedehnt. Sie wird dadurch straff, wie ein elastischer Schlauch durch Einpressen von Luft oder Flüssigkeit straff wird. Verdunstet ein Teil des Wassers, so kann sich die Cellulosehaut, ihrer Elastizität folgend, verkleinern. Da dies bei allen Zellen einer ganzen Pflanze oder eines abgeschnittenen Teiles in gleicher Weise eintritt, so wird auch das ganze Gebilde durch Wasserverlust schlaff oder welk, nimmt dagegen seine Straffheit wieder an, erhält wieder seinen Turgor, wenn den Zellen Gelegenheit geboten wird, wieder Wasser aufzunehmen oder mit anderen Worten denjenigen osmotischen Druck herzustellen, welcher dem Gehalt ihres Zellsaftes an gelösten Stoffen entspricht.

Da der Zellsaft viele verschiedene Stoffe gelöst enthält, so können wir, wenn in einer Lösung von 0,13 % Salpeter die ersten Anzeichen von Plasmolyse eintreten, schließen, dass die Summe aller in der Volumeinheit des Zellsaftes gelösten Molekeln gleich ist der Zahl der Molekeln in dem gleichen Volum einer Salpeterlösung von 0,13 %. Denn jeder der im Zellsaft gelösten Stoffe übt einen gewissen osmotischen Druck aus, welcher der Zahl der Molekeln dieses Stoffes proportional ist, und der gesamte osmotische Druck des Zellsaftes muss der Summe dieser Partialdrucke gleich sein. Diese Summe können wir messen, indem wir diejenige Salpeterlösung aufsuchen, welche dem Zellsaft isotonisch ist. Benutzen wir statt der Salpeterlösung eine andere Lösung, so kommen wir zu dem gleichen Endergebnis.[1])

Wir sehen auch hier wieder die Analogie, welche die Lösungen mit den Gasen darbieten. Bei einem Gasgemenge haben wir einen Gesamtdruck, welcher die Summe aller Partialdrucke der einzelnen Bestandteile des Gemenges ist. Ebenso ist es bei dem osmotischen Druck, wenn mehrere Stoffe gleichzeitig in derselben Flüssigkeit gelöst sind. Wenn wir die Mengen der einzelnen gelösten Stoffe kennen, so können wir auch die partialen osmotischen Drucke angeben, welche jedem derselben zukommen.

9. Osmose an Blutkörperchen.

9. In anderer Weise verlaufen die osmotischen Prozesse bei den nicht von festen Membranen eingeschlossenen, sogenannten nackten Zellen, welche im Tierreich sehr verbreitet sind. Die äußerste Randschicht solcher Protoplasmaklümpchen pflegt eine etwas abweichende Beschaffenheit zu haben von der des übrigen Klümpchens; sie ist keine feste Membran im eigentlichen Sinne des Wortes, aber doch von etwas festerer Konsistenz als das Protoplasma. Osmotisch verhält sich lebendes Protoplasma den meisten krystalloiden Stoffen gegenüber wie eine halbdurchlässige Membran. Eine so beschaffene Zelle muss aus der sie umgebenden Flüssigkeit Wasser

[1]) Dissoziierte Molekeln muss man doppelt zählen.

aufnehmen oder an sie abgeben, je nachdem der osmotische Druck in ihr kleiner oder größer ist als in der Umgebung. Im ersteren Fall, wenn die umgebende Flüssigkeit hypotonisch ist, muss die Zelle anschwellen; ist die umgebende Flüssigkeit hypertonisch, so muss die Zelle schrumpfen. Gleichgewicht tritt ein, wenn Zellsaft und Umgebungsflüssigkeit isotonisch sind.

Sehr gut lassen sich diese Verhältnisse an den roten Blutkörperchen verfolgen, welche im Plasma des Blutes schweben, (Vgl. Kap. 11 § 5.) Sie stellen mikroskopisch kleine flache Scheiben dar, welche in der Mitte dünner sind als an den Rändern. Das Plasma enthält viele Stoffe in Lösung. Körperchen und Plasma müssen offenbar isotonisch sein; sonst könnten die Körperchen im Plasma sich nicht unverändert erhalten. Setzt man zu einem Blutropfen, den man unter dem Mikroskop betrachtet, etwas Wasser, so wird das Plasma verdünnt, also hypotonisch, sein osmotischer Druck wird vermindert; infolgedessen tritt Flüssigkeit in die Blutkörperchen ein, ihr Volum nimmt zu, was sich sofort durch Abflachung der zentralen Depression bemerklich macht. Setzt man dagegen zu dem Tropfen etwas Kochsalz oder eine andere im Plasma lösliche Substanz, so wird das Plasma hypertonisch; Wasser tritt aus den Körperchen aus, sie schrumpfen und werden zackig. Trägt man Blutkörperchen, die man möglichst vom Plasma getrennt hat, in Salzlösungen von verschiedenen Konzentrationen ein, so kann man diejenige Konzentration bestimmen, in welchen sie weder schrumpfen noch aufquellen. Diese sind dann mit dem Inhalt der Blutkörperchen isotonisch.

Einer der vielen Stoffe der Blutkörperchen nimmt unser Interesse noch besonders in Anspruch, das Hämoglobin, der rote Farbstoff, welchem die Körperchen und damit das Blut ihre Farbe verdanken (vgl. Kap. 10 § 5 und 11 § 4). Hämoglobin ist ein krystalloider Stoff, es ist leicht löslich in Wasser und kann sich aus demselben in schönen Krystallen abscheiden; dementsprechend ist es auch leicht diffusibel. Trotzdem diffundiert es nicht aus den Körperchen in das Plasma hinaus. Wahrscheinlich geht es mit einem der nicht diffusiblen Stoffe des Blutkörperchens eine lockere chemische Verbindung ein, wodurch auch seine Diffusibilität aufgehoben wird. Kommen aber Blutkörperchen mit einer hypotonischen Flüssigkeit in Berührung, so tritt das Hämoglobin aus den Körperchen aus. Normales Blutplasma ist farblos, da alles Hämoglobin nur in den Blutkörperchen steckt; wird es verdünnt, so löst sich das aus den Blutkörperchen austretende Hämoglobin, das Plasma wird selbst rot. Dasselbe kann auch geschehen, wenn durch chemische Einwirkungen die Blutkörperchen so verändert werden, dass ihr Protoplasma das Hämoglobin

nicht mehr festhält; in diesem Falle ist eine Änderung in der osmotischen Spannung des Plasmas also nicht erforderlich.

Die osmotischen Vorgänge spielen oft eine wichtige Rolle bei den Lebenserscheinungen, da der Wassergehalt der mit den lebenden Substanzen in Berührung stehenden Medien gelegentlich erheblichen Schwankungen ausgesetzt sein kann. Die Stoffe, welche im Protoplasma enthalten sind, können aber auch durch die Stoffe der Umgebung chemische Veränderungen erleiden. Dadurch werden die rein physikalischen Vorgänge der Osmose verdeckt; es entsteht die Möglichkeit, dass einzelne Stoffe in das Protoplasma eindringen, während sich dasselbe Protoplasma gegen andere Stoffe als vollkommen undurchlässig erweist. Die Untersuchung über diese, namentlich auch für die Vorgänge der Resorption (vgl. Kap. 11 und 16) wichtigen Erscheinungen haben erst in neuester Zeit begonnen, die Aufmerksamkeit der Physiologen auf sich zu lenken. Sie versprechen auf manchen dunklen Punkt Licht zu werfen, wenn

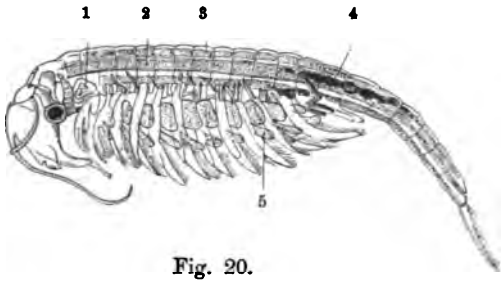


Fig. 20.

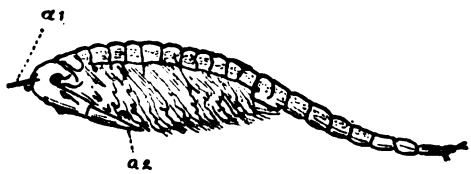


Fig. 21.

Branchipus stagnalis, ein in Tümpeln und Bächen lebender Branchiopode (Fig. 20), verwandelt sich, wenn man ihn in salzhaltiges Wasser bringt, in Artemia salina (Fig. 21) und bei noch stärkerem Salzgehalt in Artemia Milhausenii.
1 Schalendrüse, 2 Darm, 3 Herz, aus vielen Kammern bestehend, 4 Hoden, 5 Kiemen. a_1, a_2 Antennen oder Fühler.

erst durch Vervollkommnung der Untersuchungsmethoden eingehendere Untersuchungen ermöglicht sein werden.

Noch eine hierhergehörige Thatsache mag zum Schluss kurz erwähnt werden. In Bächen und Tümpeln kommt eine kleine, zur Ordnung der Branchiopoden gehörige Crustacee vor, welche die Zoologen *Branchipus stagnalis* nennen. Bringt man diese in Salzwasser, so ändert sie ihr Aussehen, sie wird einer anderen Branchiopodenart, Artemia salina ähnlich. *Artemia salina* kann bei noch stärkerem Salzgehalt in eine andere Artemiaart (*Artemia Milhausenii*) übergehen; umgekehrt aber wird *Artemia salina*, wenn sie in Süßwasser gebracht wird, in Branchipus umgewandelt. Wir sehen an diesem Beispiel, wie der größere oder geringere osmotische Druck Folgen nach sich ziehen kann, welche zu so erheblichen Formänderungen führen, dass man nicht nur verschiedene Arten, sondern sogar zwei Gattungen aus jenen Formen gemacht hat.

Wie verschieden in der That die Tierchen sind, zeigt ein Blick auf die obenstehenden Abbildungen, Fig. 20 und 21.[1])

10. Osmose als Ursache von Bewegungen.

10. Das rasche Schlaffwerden von Pflanzenzellen durch Wasseraustritt kann zuweilen zu sichtbaren Bewegungen führen, wovon im Kap. 18 ausführlicher die Rede sein wird. Langsamer verlaufen in der Regel die durch ungleichartige Quellung oder Wasserverluste bewirkten Krümmungen; auch diese sind zuweilen so stark, dass sich die betreffenden Pflanzenteile als Hygrometer zur Messung der Luftfeuchtigkeit benutzen lassen. In anderen Fällen führen die Volumsänderungen durch Änderungen des Wassergehalts zu Zerreißungen, Verwerfungen u. s. w., wie man sie an Holzplatten, die vor der völligen Austrocknung zu Möbeln verarbeitet wurden, häufig beobachtet. Sind diese rein physikalischen Erscheinungen auch keine Lebensvorgänge im eigentlichen Sinne, so sind sie doch zuweilen in den Dienst wichtiger Lebensfunktionen gestellt und für die Erhaltung des individuellen Lebens oder der Spezies von großer Wichtigkeit. Hierher gehören beispielsweise die durch einseitige Wasseraufnahme an den Hüllblättern von Blüten veranlassten Krümmungen, welche bei feuchter Luft und Regen zu vollständigem Schluss führen und die Staubfäden vor Schädigung schützen; das Austrocknen und Verstreuen des Inhalts (Pollen, Sporen) bei Staubbeuteln und Mooskapseln; das Aufreißen der Samenkapseln an gewissen Stellen mit Verstreuen oder Fortschnellen der Samen auf zuweilen recht weite Entfernungen, wie es sehr schön die Samenkapsel der Mohnpflanze (*Papaver somniferum*) zeigt. Eines der interessantesten Beispiele dieser Art bieten jedoch die Früchte der Geraniaceen dar. Bei *Erodium gruinum* z. B. sind die Teilfrüchtchen mit langen, sehr hygroskopischen Grannen und an ihrem unteren, verdickten Ende mit steifen, nach oben gerichteten Borsten versehen. Bei großem Wassergehalt sind die Grannen gerade gestreckt, beim Austrocknen drehen sich ihre unteren Enden schrauben- oder korkzieherartig zusammen. Ist ein solches Früchtchen auf den Boden gefallen, so bohrt es sich, da die steifen Borsten ein Ausweichen nach oben

---

[1]) Die Gattung *Branchipus* hat 11 Beinpaare und dahinter noch 9 Hinterleibsringe ohne Gliedmaßen; der Endlappen ist lang, an den Rändern mit Borsten besetzt; das zweite Fühlerpaar ist zangenförmig, beim Männchen mit faden- oder lappenförmigen Anhängen; die Länge des Tierchens beträgt 12—14 mm. — Die Gattung *Artemia* hat 11 Beinpaare und 8 Hinterleibsringe ohne Gliedmaßen, der Endlappen ist kurz, trägt bei A. salina nur an der Spitze einige wenige, bei *A. Milhausenii* gar keine Borsten; keine Anhänge am zweiten Fühlerpaar; Länge von *A. salina* 8—10, von *A. Milhausenii* 6—8 mm. Branchipus lebt in salzarmen Tümpeln, A. salina in Gewässern von 10—15% Salzgehalt, *A. Milhausenii* in den noch salzreicheren Seen der Krim.

verhindern, bei dem wechselnden Wassergehalt der oberen Bodenschichten immer tiefer in die Ackerkrume ein, bis es in Schichten gelangt, in denen immer Wasser genug vorhanden ist, um das Keimen des Samens zu ermöglichen.

Weniger auffallend, aber nicht minder bedeutsam sind die Gestaltveränderungen, welche die kleinsten Formelemente der Lebewesen infolge der osmotischen und Quellungsvorgänge annehmen.

Formt man aus einer konzentrierten Leimgallerte eine kreisrunde, dünne Platte und wirft sie in Wasser, so quillt dieselbe nach allen Richtungen ziemlich gleichmäßig, behält daher nahezu unverändert ihre Form. Bereitet man gleiche Scheiben aus einem Gemenge von Leim und Traganthgummi, so werden diese beim Quellen in Wasser viel dicker, fast kugelig. Der Traganthgummi ist viel quellungsfähiger als der Leim, für sich allein würde er in Wasser zu einer schleimigen Masse aufquellen. In der Mischung kann die Quellung nur so weit erfolgen, als es die Elastizität des Leims gestattet; da die Kugel bei gegebener Oberfläche den größten Rauminhalt besitzt, nähert sich die Scheibe der Kugelform um so mehr, je mehr ihr Volum durch Wasseraufnahme wächst. Wäre aus irgend einem Grunde die Dehnbarkeit in einer Richtung größer als in einer andern, so würde der Körper beim Quellen andere Formen annehmen.

Fig. 22.
Teilfrüchtchen von Erodium gruinum.
A in trocknem, *B* in feuchtem Zustand. Bei abwechselndem Austrocknen und Feuchtwerden bohren sich die Früchtchen in den Boden ein, da die steifen, nach oben gerichteten Borsten das Ausweichen nach oben verhindern.

11. Sind mehrere quellbare Gebilde nebeneinander in einer hypotonischen Lösung, so nehmen sie alle bei der Quellung an Volum zu. Zellen, welche weit voneinander entfernt, durch größere Mengen von Interzellularsubstanz getrennt bleiben, nehmen im allgemeinen Kugelform an. Sind sie aber so dicht gedrängt, dass sie bei ihrem Wachstum miteinander in Berührung kommen, so platten sie sich gegenseitig ab und werden schließlich zu mehr oder weniger regelmäßigen Polyedern, die an der Oberfläche gelegenen zu geradlinig begrenzten oder mit gewellten Rändern ineinander eingreifenden Plättchen. Scheiden die Zellleiber feste, sie einhüllende Membranen aus, so werden ihre Formen durch die Hüllen mitbestimmt; sie nehmen dann, auch wenn sie sich un-

11. Zellstrukturen und künstliche Zellen.

mittelbar berühren, nicht immer so regelmäßige Gestalten an, wie nackte Zellen unter den gleichen Umständen.

Rundliche Zellen, die nahe beisammen liegen, lassen zwischen sich Interzellularlücken von bestimmten Formen. Lagern sich in diese Lücken unlösliche Stoffe ein, wie die Kalk- und Kieselabscheidungen bei Spongien, so entstehen zierliche Nadeln, wie sie Fig. 23 zeigt. Ähnlich muss es auch mit Teilen einer und derselben Zelle sein, welche durch Zellsaft voneinander getrennt sind. Wir sind nur in den seltensten Fällen imstande, die Mechanik des Entstehens der mannigfaltigen Formen, welche sowohl bei einzelnen Zellen wie bei Zellaggregaten vorkommen, genau festzustellen. Wohl aber können wir einige Gesichtspunkte angeben, welche gewisse, häufig wiederkehrende Erscheinungen unserm Verständnis näher bringen.

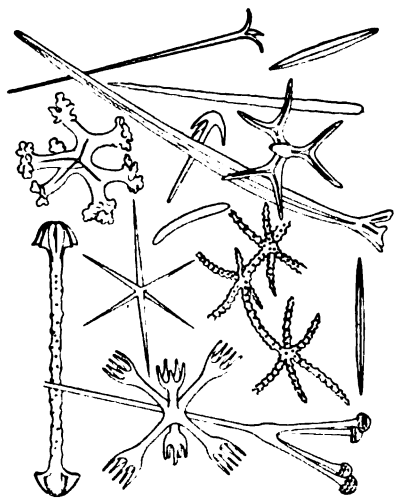


Fig. 23.
Kieselnadeln von Spongien, durch Einlagerung in die Zellinterstitien regelmäßig gestaltet.

Verreibt man Öl mit Zucker, Kochsalz oder einer anderen in Wasser leicht löslichen Substanz, verteilt etwas von diesem Gemenge in Wasser und betrachtet einen Tropfen dieser Mischung bei starker mikroskopischer Vergrößerung, so sieht man, wie die durch dünne Ölschichten voneinander abgegrenzten, mit konzentrierten Lösungen erfüllten Hohlräume durch eindringendes Wasser ausgedehnt werden.[1]) Sie stoßen dabei bald aneinander, platten sich gegenseitig ab und bilden sechseckige, rechteckige oder quadratische Felder, so dass sie Ähnlichkeit mit Honigwaben erhalten.

Eine ähnliche Schaum- oder Wabenstruktur sieht man oft an lebenden Zellen; es ist anzunehmen, dass sie auf gleiche Weise zu stande kommt. Wenn konzentrierte Lösungen krystalloider Stoffe in einer sehr zähen, quellbaren kolloiden Substanz verteilt sind, so müssen

[1]) Da in den von Öl begrenzten Räumen der osmotische Druck höher ist, so muss Wasser in sie eintreten. Die dünnen Ölschichten verhalten sich wie halbdurchlässige Membranen. Ob dabei das Wasser durch die Ölwand hindurchgeht, wenn diese aus chemisch reinem Fett besteht, oder ob dies nur dann der Fall sein kann, wenn dem Öl Spuren von Seifen beigemischt sind, lasse ich unentschieden.

sie durch Wasseranziehung sich vergrößernde Vakuolen bilden und die kolloide Substanz zu einem die Vakuolen begrenzenden regelmäßigen Maschenwerk zusammendrängen.

Bringt man einen kleinen Tropfen konzentrierter Kupferchloridlösung in eine verdünnte Lösung von Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz), so entsteht an der Peripherie des Tropfens ein Niederschlag von unlöslichen Ferrocyankupfer. Diese sogenannte Niederschlagsmembran ist halb durchlässig. Sie umschließt den mit Kupferchloridlösung erfüllten Hohlraum, in welchem der osmotische Druck größer ist, als in dem äußeren, mit verdünnter Lösung erfüllten Raum. Es dringt also Wasser ein. Da die Niederschlagsmembran nur wenig dehnbar ist, reißt sie an einzelnen Stellen. An diesen kommen die Kupferchlorid- und die Ferrocyankaliumlösung wieder in unmittelbare Berührung; es entstehen neue Niederschläge, welche die Lücken wieder schließen. Die Endosmose des Wassers schreitet deshalb so lange fort, bis der Inhalt der sich immer mehr vergrößernden „künstlichen Zelle“ und die äußeren Flüssigkeit isotonisch geworden sind. Ähnliche Erscheinungen erhält man mit Tropfen nicht gelatinierender Leimlösung in Tanninlösungen.[1]) Die dabei entstehenden Membranen von Leimtannat sind etwas elastisch. Deshalb geht die Volumszunahme der Leimkugeln, das „Wachsen der künstlichen Zellen“, viel gleichmäßiger vor sich als bei Anwendung von Kupferchlorid und Ferrocyankalium. Die „Zellen“ behalten nahezu Kugelform, während die anderen ganz unregelmäßig gestaltet sind.

Diese Versuche mit künstlichen Schäumen und künstlichen Zellen können keinen anderen Wert beanspruchen als den „schematischer Nachbildungen“ gewisser bei den Lebensvorgängen und den Formelementen, an welchen jene ablaufen, vorkommender Bedingungen. Sie können zur Aufklärung derselben beitragen; nur muss man sich bewusst bleiben, dass sie immer nur einen Teil der Bedingungen erfüllen, welche die Vorgänge an den lebenden Formelementen beeinflussen, und muss danach streben, auch die Abweichungen kennen zu lernen, wodurch sich die eigentlichen Lebensvorgänge von den an jenen schematischen Nachbildungen zu beobachtenden unterscheiden.

---

[1]) Setzt man dem Wasser, in welchem Leim zum Quellen gebracht wird, Säuren oder Alkalien zu, so löst er sich leichter beim Erwärmen und gelatiniert nicht bei der Abkühlung. Tannin (Gerbsäure) bewirkt in solchen Lösungen Niederschläge von Leimtannat (gerbsaurem Leim), welche vollkommen unlöslich sind.

Achtes Kapitel.

Die chemischen Verbindungen.

1. Einfache und zusammengesetzte Stoffe.

1. Bei der Fähigkeit der Elemente, sich miteinander zu verbinden, ist es natürlich, dass nur einige von ihnen unverbunden in der Natur vorkommen. Sehr verbreitet sind in elementarem Zustand nur Sauerstoff und Stickstoff, in geringeren Mengen kommen die sogenannten gediegenen Metalle: Kupfer, Gold u. a. vor. Die allerverbreitetsten Stoffe dagegen wie Wasser, Kochsalz, Kalk u. s. w. sind Verbindungen. Die große Mehrzahl der in der Natur vorkommenden Verbindungen enthalten Sauerstoff, alle sogenannten organischen Verbindungen, welche Bestandteile der Tier- und Pflanzenleiber ausmachen, immer Kohlenstoff.[1]) Manche chemische Verbindungen bestehen nur aus zwei Elementen, andere aus drei, vier oder noch mehr in den verschiedensten Verhältnissen. Um die Gesetze, nach denen diese Verbindungen entstehen, kennen zu lernen, empfiehlt es sich, zunächst einfache Verbindungen zwischen je zwei Elementen zu betrachten und mit den gasförmigen oder doch leicht in Gasform zu bringenden Verbindungen zu beginnen, da an diesen die Grundgesetze sich anschaulicher darstellen lassen als an den Verbindungen fester oder flüssiger Stoffe.

2. Verbindungen zwischen Gasen.

2. So gleichförmig auch alle Gase sich gegen Druck- und Temperaturschwankungen verhalten, so hat doch jedes, mag es einfach oder zusammengesetzt sein, bestimmte Eigenschaften, durch welche es sich von anderen unterscheidet. Viele Gase sind farblos und durchsichtig, sie erscheinen daher dem Auge vollkommen gleich. Andere Eigenschaften jedoch (Brennbarkeit, Absorptionsfähigkeit u. s. w.) und vor allem die Dichte, d. h. das Gewicht gleicher Volumina, machen eine sichere Unterscheidung möglich.

---

[1]) Die historisch überlieferte Einteilung der Chemie in anorganische und organische wird aus praktischen Rücksichten beibehalten, obgleich sehr viele Kohlenstoffverbindungen niemals in Lebewesen vorkommen und andere, von denen man früher glaubte, dass sie nur durch die eigenartigen Lebensvorgänge erzeugt werden könnten, auch künstlich in den Laboratorien dargestellt worden sind. (Vgl. auch § 6, sowie die Kap. 9 und 10).

Wenn wir Wasser mit Hilfe eines elektrischen Stromes zerlegen, so tritt an der Anode, d. h. der Stelle, wo der Strom in das Wasser eintritt, Sauerstoff, an der Kathode, d. h. da wo der Strom austritt, Wasserstoff auf. Die Feststellung dieser Thatsache erfolgt leicht mit Hilfe des Apparats Fig. 1 auf S. 77. Sind die über die Platinbleche gestülpten Röhren, in welchen die Gase aufgefangen werden, geteilt, so zeigt sich, dass auf jeden Kubikcentimeter Sauerstoff in derselben Zeit genau zwei Kubikcentimeter Wasserstoff entwickelt werden.

3. Zersetzung und Bildung von Wasser.

3. In manchen Fällen ist es bequemer, die Gase in dem Maße, wie sie entstehen, zusammen aufzufangen, ohne sie zu trennen. Man benutzt dazu den in Fig. 24 abgebildeten Apparat, Voltameter genannt.[1]) Bringt man das Ende der gekrümmten Röhre, durch welches die Gase entweichen, unter Wasser und stülpt über dasselbe ein oben geschlossenes, mit Wasser gefülltes Rohr, so kann man das Gasgemenge aufsammeln. Wenn man das Rohr, nachdem etwa 15 cm^3 der Gase aufgefangen sind, mit dem Finger verschließt, aus dem Wasser heraushebt und seiner Mündung eine Kerzenflamme nähert, so vereinigen sich die Gase plötzlich, man hört einen Knall und sieht eine schwach leuchtende Flamme in das Rohr hineinschlagen. Man nennt ein derartiges Gasgemenge Knallgas. Die Vereinigung des Wasserstoffs und Sauerstoffs zu Wasser erfolgt, sobald die Entzündung eingeleitet ist, ganz plötzlich, weil die Gase schon gemischt sind. Und da das gebildete Wasser im Verhältnis zu dem Volum der Gase, aus welchen es entsteht, einen verschwindend kleinen Raum einnimmt, so stürzt die äußere Luft mit

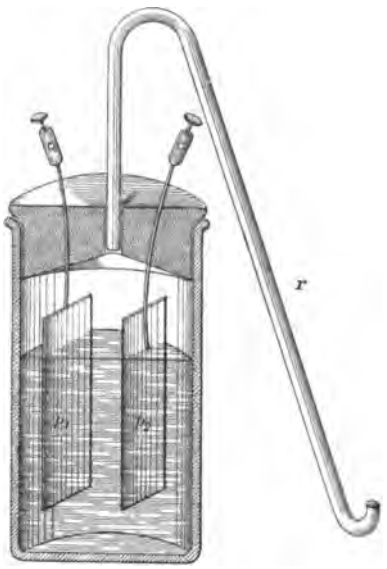


Fig. 24.
Voltameter.
Durch einen mittels der Platinplatten p_1 und p_2 durch das Wasser geleiteten elektrischen Strom wird das Wasser in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Die beiden Gase entweichen, miteinander gemischt, durch das Rohr r und können an dessen Mündung aufgefangen werden.

[1]) Das Voltameter kann dazu dienen, die Menge der in Bewegung gesetzten Elektrizität zu messen, weil dieser die Menge der entwickelten Gase proportional ist.

einem explosionsartigen Geräusch in den dabei entstehenden leeren Raum.

Handelt es sich darum, die Menge des Wasserstoffs oder Sauerstoffs zu bestimmen, welche bei der Vereinigung zu Wasser verschwinden, so lässt man die Explosion innerhalb eines durch Quecksilber abgesperrten Raumes vor sich gehen und benutzt zur Einleitung derselben den elektrischen Funken. Apparate dieser Art heißen Eudiometer; eine für Demonstrationszwecke geeignete Form ist in Fig. 25a, das obere Ende des Schenkels r_1, r_2 mit dem daran befindlichen Hahn h_1 noch besonders in größerem Maßstabe in Fig. 25b abgebildet. Wie man sieht, ist r_2 bei der in Fig. 25b gezeichneten Stellung des Hahnes h_1 abgesperrt; wird dieser Hahn um 180° gedreht, so kommuniziert r_2 durch die krumme (punktiert gezeichnete) Bohrung des Hahnes mit der Außenluft bei b. Bei dieser Stellung des Hahnes h_1 kann man von r aus das U-rohr, während die Luft bei b entweicht, mit Quecksilber füllen. Sobald das Quecksilber in der Hahnbohrung bei b erscheint, dreht man den Hahn in die gezeichnete Stellung. Der Schenkel r_1 r_2 des U-rohrs enthält jetzt nur Quecksilber.

Fig. 25a.

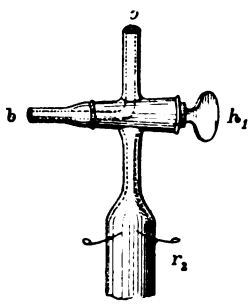


Fig. 25b.

Eudiometer. Der obere Hahn in größerem Maßstab. Durch Drehung des Hahns h_1 um 180° kann man entweder die Verbindung zwischen b und r_2 oder zwischen b nnd o herstellen. Wird der Hahn um 90° gedreht, so sind beide Verbindungen unterbrochen.

Angenommen, wir wollten mit diesem Eudiometer den Sauerstoffgehalt der Zimmerluft bestimmen, so drehen wir den Hahn h_1 wieder um 180° und öffnen vorsichtig h_2. Quecksilber fließt durch diesen Hahn aus und Zimmerluft tritt durch b in das Eudiometer ein. Wenn etwa 20 cm³ eingetreten sind, schließen wir h_2 und drehen h_1 um 180°. Man sorgt durch Einfüllen von Quecksilber bei r oder Ablassen bei h_2 dafür, dass das Quecksilber in beiden Schenkeln des U-rohres gleich hoch steht; dann steht die in r_1 r_2 abgesperrte Luft unter demselben Druck, wie er augenblicklich in der Atmosphäre herrscht. Man liest das Volum derselben an der Teilung ab. Wir wollen annehmen, es sei genau = 20 cm³.

Wir wissen, dass der Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft zwischen 20 und 21 % zu liegen pflegt. Wenn keine besonderen Gründe dafür sprechen, dass in unserem jetzigen Falle der Gehalt ein ganz anderer ist, so können wir annehmen, dass in den 20 cm^3 Zimmerluft etwas mehr als 4 cm^3 Sauerstoff enthalten sind, welche sich mit etwas mehr als 8 cm^3 Wasserstoff zu Wasser vereinigen können.

Wir verbinden jetzt das Hahnende *b* durch einen Gummischlauch mit einem Behälter, welcher reines Wasserstoffgas enthält, oder einem Apparat, in welchem dies Gas entwickelt wird, und lassen dasselbe durch *b* und *o* entweichen. Wenn wir sicher sind, dass alle atmosphärische Luft aus der Hahnbohrung verdrängt worden ist, drehen wir den Hahn h_1 wieder um 180° und öffnen vorsichtig den Hahn h_2. Wasserstoff tritt in das Eudiometer ein und mischt sich dort mit der schon vorhandenen Luft.

Wenn das Volum des Luftgemenges etwa bis 30 cm^3 gekommen ist, drehen wir Hahn h_1 um 180° und schließen h_2. Wir bringen wieder das Quecksilber in beiden Schenkeln des Eudiometers auf gleiche Höhe und lesen das Volum ab. Wir wollen annehmen, es sei jetzt = 29. Wir haben also im Eudiometer ein Gemenge von 20 cm^3 Zimmerluft und 9 cm^3 Wasserstoff.

Um in diesem Gemenge eine Explosion und damit die Vereinigung des Sauerstoffs und Wasserstoffs zu Wasser herbeizuführen, müssen wir die am oberen Ende des Schenkels r_1 r_2 eingeschmolzenen Platindrähte mit einem Induktorium verbinden und elektrische Funken durch das Gasgemenge schlagen lassen. Dabei könnte aber durch die Gewalt der Explosion der Apparat zertrümmert oder Quecksilber herausgeschleudert werden. Um dies zu vermeiden, lässt man durch Öffnen des Hahns h_2 etwas Quecksilber ausfließen, wodurch das Gasgemenge unter etwas niedrigeren Druck gesetzt wird, und verschließt das offene Ende des Schenkels r r_1 durch einen fest eingedrückten Kork- oder Kautschukstopfen. Wenn jetzt die Explosion erfolgt, so dient die in r r_1 über dem Quecksilber abgesperrte Luft als elastisches Polster, welches den Stoß mildert.

Nach der Explosion entfernt man den Stopfen, bringt das Quecksilber in beiden Schenkeln auf gleiche Höhe und liest das Volum ab. Es sei = 16,7. Wir stellen nun folgende Rechnung an. Vor der Explosion war das Volum 29,0, nach der Explosion 16,7. Es sind also verschwunden 12,3 cm^3. Ein Drittel davon = 4,1 cm^3 müssen Sauerstoff sein. Diese 4,1 cm^3 waren in 20 cm^3 Zimmerluft enthalten; also ist der Sauerstoffgehalt derselben in Prozenten = 20,5.

Hätten wir statt eines Gemenges von atmosphärischer Luft und Wasserstoff reines Knallgas in das Eudiometer gebracht, so würde das Volum desselben nach der Explosion = Null sein. Könnten wir die

Verpuffung bei einer Temperatur von 100° vornehmen, so bliebe das bei der Vereinigung der Gase entstehende Wasser gasförmig und sein Volum könnte mit dem des Knallgases, aus dem es entstanden ist, verglichen werden. Um dies auszuführen, umgiebt man das Eudiometerrohr mit einem weiteren Glasrohr und leitet durch den ringförmigen Raum zwischen beiden einen Strom von Wasserdampf aus einem Kessel, in welchem Wasser im Sieden erhalten wird. Man findet dann, dass der aus je 3 Volumteilen Knallgas entstehende Wasserdampf 2 Volumteile einnimmt. Selbstverständlich wird auch die Volummessung des Knallgases erst vorgenommen, nachdem seine Temperatur durch den umspülenden Dampf auf 100° gebracht worden ist. Dann sind, da die Volummessung der Gase bei derselben Temperatur und demselben Druck vorgenommen wurde, die Volume unmittelbar vergleichbar.

Aus diesen und den früher mitgeteilten Versuchen über die Zerlegung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Wasser kann in zwei Gase, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt werden. Die Volume dieser Gase verhalten sich wie 2 : 1;

2. Wenn zwei Volume Wasserstoff und ein Volum Sauerstoff sich verbinden bei einer so hohen Temperatur, dass alles Wasser gasförmig bleibt, so nimmt der aus den drei Volumen entstandene Wasserdampf nur zwei Volume ein.

4. Gesetz der festen Volumverhältnisse.

4. Um zu entscheiden, ob es sich hierbei um ein allgemeingiltiges Gesetz handle, wollen wir noch zwei Verbindungen des Wasserstoffs mit anderen Gasen einer ähnlichen Untersuchung unterwerfen. Da die dabei entstehenden Verbindungen auch bei Zimmertemperatur gasförmig sind, bedarf es der Erwärmung auf 100° nicht. Mischt man gleiche Volumina Wasserstoff und Chlor in einem Glasgefäß und setzt dieses Gemenge hellem Sonnenlichte aus, so erfolgt die Vereinigung unter heftiger Explosion. In zerstreutem Tageslicht erfolgt die Vereinigung etwas langsamer. Sammelt man an einem nicht zu hellen Orte die Gase in dem oben beschriebenen Eudiometer, so kann man sie ebenso wie das Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff durch elektrische Funken zur Explosion bringen. Man findet dann, dass sich 1 Volum Wasserstoff mit 1 Volum Chlor zu 2 Volume Chlorwasserstoff vereinigen. Endlich hat man gefunden, dass 2 Volume Ammoniak in 3 Volume Wasserstoff und 1 Volum Stickstoff zerlegt werden können.

Es hat sich also folgendes gezeigt:

1 Volum Wasserstoff u. 1 Vol. Chlor geben 2 Vol. Chlorwasserstoff.
2 „ „ „ 1 „ Sauerstoff „ 2 „ Wassergas.
3 „ „ „ 1 „ Stickstoff „ 2 „ Ammoniak.

Bei der ersten Verbindung tritt keine Volumsverminderung oder Verdichtung ein, bei der zweiten eine Verdichtung auf $^2/_3$, bei der dritten auf $^1/_2$ des Volums der unverbundenen Gase. In allen drei Fällen kommen die Verbindungen der Gase nach einfachen Volumverhältnissen zu stande. Dieselbe Gesetzmäßigkeit zeigt sich bei allen Verbindungen, wenn ihre Bestandteile sowohl wie sie selbst Gase sind oder durch passende Temperaturerhöhung in Gase verwandelt werden können.

5. Da jedem Gase eine bestimmte Dichte zukommt, also je ein Liter eines jeden Gases ein bestimmtes Gewicht hat, so folgt unmittelbar, dass die Vereinigung sich immer auch in bestimmten Gewichtsverhältnissen vollzieht. 5. Gesetz der festen Gewichtsverhältnisse.

Die Dichte oder das spezifische Gewicht der festen und flüssigen Körper wird durch Vergleichung mit Wasser bestimmt (Kap. 4, § 14). 1 cm^3 Wasser wiegt 1 g, 1 cm^3 Eisen wiegt 7,75 g, also ist das spezifische Gewicht des Eisens = 7,75. 1 cm^3 der gewöhnlichen atmosphärischen Luft wiegt bei 0^0 und 760 mm hg[1]) 0,0012928 g. Für den Ausdruck des spezifischen Gewichtes der Gase sind diese Zahlen wegen der außerordentlich geringen Dichte der Gase unbequem. Da sie nur Relativzahlen sind, so kann man auch irgend ein Gas, z. B. die atmosphärische Luft, als Vergleichskörper benutzen, indem man angiebt, wie das Gewicht eines bestimmten Volums irgend eines Gases (bei gleicher Temperatur und gleichem Druck) sich zu dem Gewicht des gleichen Volums atmosphärischer Luft verhält. Danach wäre die Dichte des Wasserstoffs = 0,06926, die des Sauerstoffs = 1,10563 u. s. w. Da Wasserstoff von allen bekannten Gasen das leichteste ist, so ist es vorteilhaft, die Dichte aller Gase auf Wasserstoff zu beziehen. Wir werden sehen, dass dies für die Übersicht über die gasförmigen Elemente und ihre Verbindungen sehr bequem und vorteilhaft ist.[2])

6. Wir wollen deshalb für die folgenden Auseinandersetzungen statt der gewöhnlich gebrauchten Gewichtseinheit (1 g) eine 6. Gasdichte und Molekulargewicht.

[1]) Diese nähere Bestimmung ist wegen des Boyle'schen und Gay-Lussac'schen Gesetzes notwendig (vergl. Kap. 6 § 6).

[2]) Man bestimmt die Gasdichte oder das spezifische Gewicht eines Gases oder Dampfes entweder durch Wägung eines bekannten Volums desselben und Vergleichung seines Gewichts mit dem eines gleichen Volums Wasserstoff (bei gleicher Temperatur und gleichem Druck) oder durch Bestimmung des Volums, welches eine bestimmte Gewichtsmenge bei bekanntem Druck und Temperatur einnimmt, oder endlich durch die Geschwindigkeit des Ausströmens aus einer engen Öffnung (vgl. Kap. 6 § 10). Letztere Methode ist leichter ausführbar, giebt aber nicht so genaue Werte wie die ersteren.

andere Einheit benutzen, nämlich das Gewicht eines Liters Wasserstoff bei der Temperatur 0^0 und dem Druck von 760 mm hg. Diese Gewichtseinheit nennen wir 1 Krith[1]). Da 1 l Wasserstoff bei 0^0 und 760 mm hg 0,08954 g wiegt, so können wir die Gewichtsangaben nach der einen Einheit in die der anderen verwandeln, indem wir mit 0,08954 oder abgekürzt 0,09 multiplizieren oder dividieren.

In diesem Maß gemessen, wiegt

1 l Wasserstoff	1	Krith.	Seine Dichte	ist	= 1
1 l Chlor	35,2	„	„	„	= 35,2
1 l Sauerstoff	16,0	„	„	„	= 16,0
1 l Stickstoff	14,0	„	„	„	= 14,0

Wenn wir 1 l Wasserstoff und 1 l Chlor mischen, so haben wir 2 l Gas und die Masse $1 + 35{,}2 = 36{,}2$ Krith. Wenn diese sich zu Chlorwasserstoff verbinden, so entstehen 2 l Chlorwasserstoff von der Masse 36,2; also wiegt 1 l Chlorwasserstoff $\frac{36{,}2}{2} = 18{,}1$ Krith. Seine Dichte ist = 18,1.

2 l Wasserstoff und 1 l Sauerstoff wiegen zusammen $2 + 16 = 18$ Krith. Da sie 2 l Wasserdampf geben, so

wiegt 1 l Wasserdampf $\frac{18}{2} = 9$ Krith. Seine Dichte ist = 9[2]).

3 l Wasserstoff und 1 l Stickstoff wiegen zusammen 17 Krith. Da sie 2 l Ammoniak geben, so

wiegt 1 l Ammoniak $\frac{17}{2} = 8{,}5$ Krith. Seine Dichte ist = 8,5.

Nach der AVOGADRO'schen Hypothese enthalten gleiche Volumina verschiedener Gase (bei gleicher Temperatur und gleichem Druck) gleich viel Molekeln. Daraus folgt, dass die Gewichte der Gasmolekeln sich verhalten müssen wie die Gewichte gleicher Volumina der betreffenden Gase. Wenn 1 l Wasserstoff 1 Krith wiegt, und wenn in 1 l n Molekeln enthalten sind, dann wiegt eine Molekel Wasserstoff $\frac{1}{n}$ Krith. Ebenso finden wir, dass eine Molekel Chlor $\frac{35{,}2}{n}$ Krith wiegt, eine Molekel Sauerstoff $\frac{16}{n}$ Krith, eine Molekel Stickstoff $\frac{14}{n}$ Krith. Die Zahl n ist unbekannt,

[1]) Der Vorschlag rührt von dem berühmten Chemiker A. W. HOFMANN her. κριθή bedeutet ein Gerstenkorn und in abgeleiteter Bedeutung ein kleines Gewicht, ähnlich wie Gran (von granum, Korn), welches früher auch als Name eines kleinen Gewichts benutzt wurde und in manchen Gewichtssystemen, z. B. dem englischen, noch jetzt benutzt wird (engl. grain).

[2]) Da Wasserdampf nur bei Temperaturen von 100^0 und darüber gemessen werden kann, so müssen wir uns das Volum auf 0^0 reduziert vorstellen.

aber trotzdem sind die Zeichen $\frac{1}{n}$, $\frac{35{,}2}{n}$, $\frac{16}{n}$ und $\frac{14}{n}$ ganz bestimmte Zahlen. Denken wir uns einen Haufen von lauter gleichen Schrotkörnchen, welcher 10 g wiegt. Wenn wir die Zahl der Körnchen wüssten, so könnten wir das Gewicht eines Körnchens angeben. Nennen wir die unbekannte Zahl der Körnchen m, so ist $\frac{10}{m}$ g zwar unbekannt, aber doch ein ganz bestimmtes, nur eben nicht in bekannten Zahlen angebbares, Gewicht[1]).

7. Gasdichte und Atomgewichte.

7. Wenn demnach 1 l Wasserstoff und 1 l Chlor 2 l Chlorwasserstoff ergeben, so heißt das, dass aus n Molekeln Wasserstoff und n Molekeln Chlor 2 n Molekeln Chlorwasserstoff entstehen. Nun ist die Molekel Chlorwasserstoff zusammengesetzt, denn sie besteht aus den Elementen Chlor und Wasserstoff; sie muss also mindestens ein Atom Wasserstoff und ein Atom Chlor enthalten. Nehmen wir dies an, dann folgt, dass zur Bildung von 2 n Molekeln Chlorwasserstoff nötig waren 2 n Atome Chlor und 2 n Atome Wasserstoff.

2 n Atome Chlor waren also in 1 Liter Chlor und 2 n Atome Wasserstoff in 1 Liter Wasserstoff enthalten. Da aber 1 Liter Gas n Molekeln enthält, so folgt, dass eine Molekel Wasserstoff aus zwei Atomen Wasserstoff und eine Molekel Chlor aus zwei Atomen Chlor besteht. Ist das der Fall, dann können wir aus der Dichte eines Gases das Gewicht seiner Atome berechnen. Offenbar muss dann 1 Atom Wasserstoff $\frac{1}{2\,n}$ Krith und 1 Atom Chlor $\frac{35{,}2}{2n}$ Krith wiegen.

Durch dieselbe Überlegung finden wir, dass eine Molekel Wasser aus 3 Atomen bestehen muss, nämlich aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff; ebenso muss eine Molekel Ammoniak aus 4 Atomen bestehen, nämlich aus 1 Atom Stickstoff und 3 Atomen Wasserstoff. Wir können das kurz und doch deutlich und anschaulich darstellen, wenn wir für jedes Atom ein Zeichen einführen. Als solche Atomzeichen werden von den Chemikern die Anfangsbuchstaben der lateinischen Namen der Elemente benutzt. Wenn die Namen zweier Elemente denselben Anfangsbuchstaben haben, so wird noch ein anderer Buchstabe behufs Unterscheidung angefügt. Für die von uns bisher betrachteten Elemente gelten folgende Zeichen:

---

[1]) Die Zahl n (die Anzahl der in 1 l Gas von 0° und 760 hg vorhandenen Molekeln) kann annähernd berechnet werden; sie wird auf 61×10^{24}, d. h. 61 Quadrillionen geschätzt.

H (Hydrogenium) für Wasserstoff
O (Oxygenium) „ Sauerstoff
N (Nitrogenium) „ Stickstoff
Cl (Chlorum) „ Chlor.

Danach bedeutet also

H	ein	Atom	Wasserstoff,	Gewicht	$\frac{1}{2n}$	Krith
O	„	„	Sauerstoff,	„	$\frac{16}{2n}$	„
N	„	„	Stickstoff,	„	$\frac{14}{2n}$	„
Cl	„	„	Chlor,	„	$\frac{35,2}{2n}$	„

Ebenso bedeutet

HH	oder	H_2	eine	Molekel	Wasserstoff,	Gewicht	$\frac{1}{n}$ Krith
OO	„	O_2	„	„	Sauerstoff,	„	$\frac{16}{n}$ „
NN	„	N_2	„	„	Stickstoff,	„	$\frac{14}{n}$ „
ClCl	„	Cl_2	„	„	Chlor,	„	$\frac{35,2}{n}$ „
und	HCl		„	„	Chlorwasserstoff	„	$\frac{36,2}{2n} = \frac{18,1}{n}$ Krith
	H_2O		„	„	Wasser	„	$\frac{18}{2n} = \frac{9}{n}$ „
	NH_3		„	„	Ammoniak	„	$\frac{17}{2n} = \frac{8,5}{n}$ „

Die Zeichen H, O, N, Cl haben also nicht bloß eine qualitative, die chemische Natur des betreffenden Elementes angebende, sondern auch eine quantitative Bedeutung. Sie geben das kleinste Gewicht des betreffenden Stoffes an, welches mit einem bestimmten Gewicht eines anderen Stoffes eine chemische Verbindung einzugehen vermag. Dieses Gewicht ist zwar nur unvollkommen bekannt, da wir die Zahl n nicht genau kennen. Da aber diese Zahl für gleiche Volumina aller Gase dieselbe ist, so geben die Zahlen jedenfalls das Verhältnis der Atomgewichte richtig an.

Wählen wir als Einheit für die Messung der Atomgewichte das Gewicht eines Atoms Wasserstoff, so kommen wir für die in den obigen Versuchen besprochenen Elemente und Verbindungen zu folgenden, sehr einfachen Beziehungen:

	Atomgewicht	Molekulargewicht
H	1	2
O	16	32
Cl	35,2	70,4
N	14	28

Atomgewichte	Molekulargewicht
H_2O $(1+1+16)$	18
HCl $(1+35{,}2)$	36,2
NH_3 $(14+1+1+1)$	17

Ähnliches lässt sich auch für andere Elemente und ihre Verbindungen zeigen, worauf wir noch zurückkommen werden.

Wägen wir von irgend einem Stoff so viel Gramme ab, als seinem Molekulargewicht entspricht, also z. B. von Wasser 18 g, von Ammoniak 17 g, so müssen in beiden Massen die gleiche Anzahl von Molekeln enthalten sein. Diese Massen sind also sozusagen chemisch gleichwertig. Wir kennen die wahren Gewichte der Molekeln nicht, weil uns die Zahl n nur unvollkommen bekannt ist. Denken wir uns aber die Molekel H_2, deren wirkliches Gewicht $= \frac{1}{n}$ Krith ist, bis zu dem Gewicht von 1 g vergrößert, so müssen wir auch alle anderen Molekulargewichte mit demselben Faktor multiplizieren, damit die Gewichtsverhältnisse zwischen ihnen ungeändert bleiben. Nur allein auf diese Verhältnisse kommt es bei den Verbindungen an. Wir erhalten dann für Wasser 18 g, für Ammoniak 17 g u. s. w. Diese Gewichte nennt man die Grammmolekeln der betreffenden Stoffe. (Vergl. S. 149 Anm.)

8. Der vorerst für die bisher betrachteten Gase abgeleitete Satz, dass ihre Vereinigung in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen erfolgt, gilt ganz allgemein für alle chemischen Verbindungen. Betrachten wir z. B. die im Kap. 4 § 8 erwähnte Verbindung von Schwefel und Eisen. Wenn 32 g Schwefel und 56 g Eisen gemischt und zur Vereinigung gebracht werden, so erhält man 88 g Eisensulfid; die genaueste Untersuchung lehrt, dass keine Spur des Schwefels oder des Eisens unverbunden zurückgeblieben ist. Hätte man 33 g Schwefel oder 57 g Eisen genommen, so hätte man doch nur 88 g Eisensulfid bekommen; im ersteren Falle wäre 1 g Schwefel, im letzteren 1 g Eisen unverbunden geblieben. 8. Verallgemeinerung des Gesetzes der festen Gewichtsverhältnisse.

In zahlreichen Fällen ist die Vereinigung zweier Elemente in mehreren Verhältnissen möglich. Wenn man Kohlenstoff, etwa in der reinsten Form desselben, als Diamant, in einem Glaskolben einschließt, den Kolben mit Sauerstoff füllt und erhitzt, z. B. dadurch, dass mit Hilfe eines Brennglases Sonnenlicht auf den kleinen Diamanten konzentriert wird, so vereinigen sich Kohlenstoff und Sauerstoff, der Kohlenstoff oxydiert sich oder verbrennt. Es entsteht Kohlendioxyd, in welchem 12 Gewichtsteile Kohlenstoff mit 32 Gewichtsteilen Sauerstoff verbunden sind; aller übrige in dem Kolben vorhandene Sauerstoff beteiligt sich nicht an dem chemischen Prozess. Wenn aber Kohlenstoff bei ungenügender

Zufuhr von Sauerstoff verbrennt, so entsteht eine ganz andere Verbindung in dem Verhältnis von 12 Gewichtsteilen Kohlenstoff zu 16 Gewichtsteilen Sauerstoff. Wir nennen sie Kohlenoxyd. Zwei wichtige Punkte sind hier zu beachten: 1. die Gewichte Sauerstoff, welche sich mit je 12 Gewichtsteilen Kohlenstoff verbinden können, stehen in dem einfachen Verhältnis von $16:32 = 1:2$, und 2. das Verbindungsgewicht des Sauerstoffs (16) ist dasselbe, welches uns schon früher bei der Vereinigung des Sauerstoffs mit Wasserstoff zu Wasser begegnet ist; denn dieses war $16:2$.

Diese beiden Thatsachen stehen nicht vereinzelt da. Überall, wo ein und dieselbe elementare Substanz mit einem anderen Element mehr als eine Verbindung eingehen kann, sind die in die Verbindungen eingehenden Gewichtsmengen einfache Vielfache einer für jedes Element ganz bestimmten Grundzahl. Welche Verbindungen dieses Elements mit anderen Elementen auch immer wir untersuchen, immer finden wir, dass seine in die Verbindung eingehenden Gewichtsmengen ausgedrückt werden durch diese selbe Grundzahl oder ein einfaches Vielfaches derselben.

Diese Grundzahl stellt also, wie es scheint, die kleinste überhaupt existierende Menge des betreffenden Elements dar. Wir wägen dieselbe, indem wir von dem „Krith" d. h. dem Gewicht eines Liters Wasserstoff bei 0^0 und 760 mm hg ausgehen und als Einheit das Atomgewicht des Wasserstoffs $= \frac{1}{2n}$ Krith benutzen. Auf diese Weise erhalten wir die Atomgewichte aller Elemente, deren Verbindungen wir analysieren können, ausgedrückt in Vielfachen des Atomgewichts des Wasserstoffs.

Atomgewichte und chemische Zeichen der wichtigsten, in lebenden Wesen vorkommenden Elemente[1]).

Kohlenstoff	C	12	*Brom	Br	80
Wasserstoff	H	1	Natrium	Na	23
Sauerstoff	O	16	Kalium	K	39
Stickstoff	N	14	Calcium	Ca	40
Schwefel	S	32	Magnesium	Mg	24,2
Phosphor	P	31	Eisen	Fe	56
Chlor	Cl	35,2	*Mangan	Mn	55
Fluor	Fl	19	*Kupfer	Cu	63,2
Silicium	Si	28,2	*Aluminium	Al	27
Jod	J	126	*Zink	Zn	65

[1]) Die in der Tabelle angegebenen Zahlen sind etwas abgerundete. Genaue Bestimmungen haben z. B. für C 11,92, für O 15,88, für N 13,94, für Chlor 35,18 u. s. w. ergeben.

Die mit * bezeichneten Elemente wurden nicht in allen Lebewesen gefunden; Brom nur in Seepflanzen, Kupfer in manchen Pflanzen und im Blute von Crustaceen und Mollusken, Zink nur in gelben Veilchen, welche auf sogenanntem Galmeiboden wachsen, Aluminium in Lycopodiumarten[1]).

9. Aus Alledem, was wir über die Verbindungen der Gase erfahren haben, folgt, dass man die molekulare Zusammensetzung aus Atomen feststellen kann, wenn eine Verbindung gasförmig ist oder durch geeignete Temperaturerhöhung in Gasform gebracht werden kann, vorausgesetzt, dass die Atomgewichte der in die Verbindung eingehenden Elemente bekannt sind. Wir können hier nicht auf die sehr mühsamen Versuche eingehen, durch welche letztere gefunden worden sind. Ich will nur an einigen Beispielen zeigen, wie man die Zusammensetzung einer Verbindung ermittelt und diese in einer Formel darstellt. Dazu muss man 1) die prozentische Zusammensetzung des betreffenden Stoffes bestimmen, 2) seine Dampfdichte, d. h. das Gewicht eines Liters des (gas- oder dampfförmigen) Stoffes bei 0° und 760 mm hg in Krith. 9. Analyse von Verbindungen.

Um die prozentische Zusammensetzung einer Verbindung zu ermitteln, muss man dieselbe analysieren, d. h. in ihre Bestandteile zerlegen. Wir wollen das Verfahren an organischen Stoffen erläutern, da diese für uns hervorragende Bedeutung haben. Alle organischen Stoffe enthalten Kohlenstoff, worauf Lavoisier zuerst aufmerksam gemacht hat, außerdem meistens Sauerstoff und Wasserstoff, einige auch noch Stickstoff, Phosphor, Schwefel und zuweilen auch noch das eine oder andere der in der Tabelle S. 180 genannten Elemente. Da aus Gründen, die wir noch besprechen werden, besonders die Unterscheidung zwischen stickstoffhaltigen und stickstofffreien Stoffen wichtig ist, so beginnt man, wenn es sich um einen unbekannten organischen Stoff handelt, in der Regel mit der Vorprüfung, ob der Stoff Stickstoff enthält oder nicht.

Wir wählen zur Untersuchung zwei bekannte organische Verbindungen: Traubenzucker und Leim. Lässt man fein pulverisierten Zucker in einen Platintiegel fallen, welcher durch die Flamme eines Brenners glühend erhalten wird, so bemerkt man, dass der Zucker schmilzt und sich stark aufbläht. Sodann entwickeln sich Dämpfe. Wenn man über die Mündung eine kalte Porzellanplatte hält, so schlagen

[1]) Es kann auch vorkommen, dass Stoffe, welche nicht zum Bestande eines Lebewesens gehören, durch Zufall in dasselbe hineingeraten. Sie können dann, wenn sie nicht so stark giftig sind, dass das Leben schnell erlischt, entweder wieder ausgeschieden oder im Körper abgelagert werden. So findet man z. B. gelegentlich Blei oder andere Metalle, welche während des Lebens aufgenommen wurden, auch in menschlichen Leichen, besonders in der Leber abgelagert.

sich die Dämpfe auf ihr nieder, sie scheinen aus reinem Wasser zu bestehen. Nach einiger Zeit entflammt die Substanz; der Zucker brennt. Wenn die Flamme erlischt, ist der Tiegel mit einer lockeren, schwammigen, schwarzen Masse erfüllt, die wie Kohle aussieht. Glüht man stärker, so verschwindet die schwarze Masse allmählich; der Tiegel wird schließlich ganz leer. Die schwarze Masse war wirklich Kohlenstoff. Dieser hat sich bei der hohen Temperatur mit dem Sauerstoff der Luft verbunden und ist als Kohlendioxyd CO_2 entwichen.

Wiederholt man den Versuch mit dem Unterschied, dass man den Zucker in einem langen, engen, unten zugeschmolzenen Glasrohr erhitzt so sind die Erscheinungen etwas verschieden. Die von dem erhitzten Zucker ausgehenden Dämpfe schlagen sich an den oberen, kalt bleibenden Teilen des Glasrohres nieder. Wir können uns jetzt noch besser überzeugen, dass sie aus Wasser bestehen. Am Boden finden wir wieder die schwarze Masse, welche aber jetzt, da in dem engen Rohr der Sauerstoff der Luft nur ungenügenden Zutritt findet, selbst nach längerem Glühen unverändert bleibt. Wir können uns überzeugen, dass sie in der That alle Eigenschaften des Kohlenstoffes hat.

Wir können hieraus schließen, dass der Zucker Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten muss, aus denen bei der vollständigen Verbrennung Kohlendioxyd und Wasser entstehen. Ob er noch andere Elemente enthält, können wir vorerst nicht sagen; nur so viel geht aus diesen Vorversuchen hervor, dass es keine unverbrennlichen, festen, bei der Verbrennung nicht flüchtige Verbindungen gebenden Elemente sein können. Denn diese hätten bei der Verbrennung im glühenden Tiegel als Asche zurückbleiben müssen.

Sehen wir jetzt, wie sich Leim unter den gleichen Umständen verhält. Auch er schmilzt, stößt Dämpfe aus und hinterlässt Kohle, die zuletzt ohne Rückstand verbrennt. Aber es entwickelt sich zugleich während des Verbrennens ein eigentümlicher Geruch, der an verbrennende Federn erinnert. Um zu erfahren, wovon das herrührt, wiederholen wir den Versuch, nachdem wir den gepulverten Leim vorher mit etwas Natronkalk (d. h. Kalk, der mit Natronlauge imprägniert ist) verrührt haben. Halten wir einen mit Salzsäure benetzten Glasstab in den aus der erhitzten Masse aufsteigenden Dampf, so bilden sich weiße, dichte Nebel. Es ist das ein Zeichen, dass in dem Dampf Ammoniak enthalten ist. Und da wir wissen, dass Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist, so können wir schließen, dass in dem Leim neben Kohlenstoff und Wasserstoff auch Stickstoff enthalten war.

10. Quantitative Elementaranalyse.

10. Was wir hier mit den beiden Stoffen Zucker und Leim gemacht haben, können wir als eine qualitative Analyse derselben bezeichnen. Wir haben das Vorhandensein gewisser und die Abwesenheit anderer Elemente erkannt. Um aber die Art der Ver-

bindung genauer festzustellen, müssen wir eine quantitative Elementaranalyse vornehmen. Die Methoden derselben sind für organische Substanzen von LAVOISIER erfunden und später von LIEBIG u. A. vervollkommnet worden. Wir wollen eine solche für die eine der beiden bisher betrachteten Substanzen, den Zucker, eingehend darstellen.[1])

In eine etwa 80 cm lange Röhre von schwer schmelzbarem Glas, welche an dem einen Ende in eine feine Spitze ausgezogen und dann zugeschmolzen ist, wird zuerst Kupferoxyd gebracht (bis *a*), dann eine abgewogene, fein gepulverte Menge Zucker,[2]) der mit fein gepulvertem Kupferoxyd gut gemischt war (bis *b*), dann wieder Kupferoxyd (bis *c*) dann einen Asbestpfropf. Die Röhre wird schließlich mit einem gutschließenden Stopfen verschlossen. Letzterer ist von einem dünnen, rechtwinkelig gebogenen Glasrohr durchbohrt, welches in den einen Schenkel des mit Chlorcalcium beschickten U-förmigen Rohres *r* übergeht. An dieses

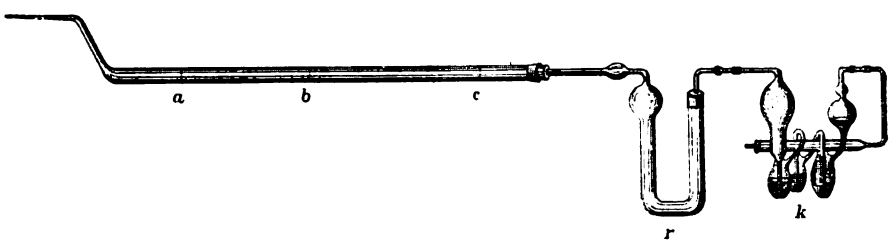


Fig. 26.

Elementaranalyse.

Das Glasrohr wird bis *a* mit Kupferoxyd, zwischen *b* und *c* mit einer Mischung des zu analysierenden Stoffs und Kupferoxyd, von *b* bis *c* wieder mit Kupferoxyd gefüllt. Das *U*-Rohr *r* enthält Chlorcalciumstücke, welche alles Wasser, der Kaliapparat *k* starke Kalilauge, welche alles Kohlendioxyd aufnimmt. Weiteres im Text.

ist mittelst Gummischlauches angeschlossen der Kaliapparat *k*, an welchen noch ein kleines, mit Kalistücken gefülltes Rohr angefügt ist. Das große Chlorcalciumrohr *r* und der Kaliapparat *k* mit seinem Kalirohr sind vorher einzeln gewogen worden. Man erhitzt durch untergesetzte Brenner zuerst die Glasröhre zwischen *b* und *c*, dann zwischen *a* und dem geschlossenen Ende, zuletzt auch das Gemenge von Zucker und Kupferoxyd zwischen *b* und *a* Der Zucker wird zersetzt und aller in ihm enthaltener Kohlenstoff in Kohlendioxyd, aller Wasserstoff in Wasser verwandelt. Das Kupferoxyd, welches aus Kupfer und Sauerstoff besteht, giebt im glühenden Zustand, wenn es mit organischen

[1]) Die quantitative Bestimmung des Stickstoffs in stickstoffhaltigen organischen Substanzen übergehe ich vorläufig. Vgl. Kap. 10.

[2]) Es giebt verschiedene Zuckerarten; der hier analysierte ist Traubenzucker, so genannt, weil er in den Weintrauben vorkommt.

Substanzen in Berührung ist, Sauerstoff ab und dient dazu, die vollständige Verbrennung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes zu sichern.

Die Zersetzungsprodukte des Zuckers können nur nach dem offenen Ende des Rohres entweichen. Das gebildete Wasser wird in dem mit Chlorcalciumstücken gefüllten Rohr *r* zurückgehalten, denn Chlorcalcium ist eine sehr wassergierige, sog. hygroskopische Substanz. Alles gebildete Kohlendioxyd wird in der Kalilauge des Apparats *k*, das aus dieser durch Verdunstung entweichende Wasser in dem kleinen Kalirohr zurückgehalten. Etwas Wasser und Kohlendioxyd befinden sich zuletzt noch in dem Verbrennungsrohr. Um diese gleichfalls nach *r* und *k* überzuführen, bricht man die Spitze, nachdem man sie vorher durch einen Kautschukschlauch mit einem anderen Chlorcalciumrohr und Kaliapparat verbunden hat, innerhalb des Schlauches ab und treibt aus einem Gasometer atmosphärische Luft durch die Röhre. Dieselbe wird durch die vorgelegten Apparate von allem ihr beigemischten Wasserdampf und Kohlendioxyd befreit, nimmt das im Verbrennungsrohr noch vorhandene Wasser und Kohlendioxyd mit und führt sie nach *r* und *k*. Durch abermalige Wägung von *r* und *k* bestimmt man, wieviel Wasser und wieviel Kohlendioxyd diese Apparate aufgenommen haben. In einem derartigen Versuche wurden (auf 100 g Zucker berechnet) gefunden:[1])

145,64 g CO_2	entsprechend	39,72 g C
60,30 g H_2O	„	6,70 g H
		46,42

Es fehlen also 53,58 g. Diese können, da aus den 100 g Zucker nichts anderes als CO_2 und H_2O entstanden sind, nur O gewesen sein. Der Zucker besteht demnach aus den drei Elementen C, H und O. Seine prozentische Zusammensetzung wäre nach unserer Analyse:[2])

39,72 %	C
6,70 „	H
53,58 „	O
100,00	

11. Aufstellung chemischer Formeln.

11. Um aus der prozentischen Zusammensetzung des Zuckers:

39,72 C : 6,70 H : 53,58 O

eine chemische Formel zu berechnen, d. h. zu finden, wieviel Atome

[1]) Die wirklich gefundenen Gewichtsmengen sind, um sie in Prozenten auszudrücken, auf 100 g Zucker umgerechnet. In Wirklichkeit wurde die Analyse mit einer viel geringeren Menge (weniger als 1 g) Zucker ausgeführt.

[2]) Der Sauerstoffgehalt des Zuckers ist nicht direkt gefunden worden, sondern wird aus der Differenz des Zuckergewichts (100) und des Gewichts des C + H (46,42) berechnet. Die entstandene CO_2 und H_2O enthalten viel mehr O, als im Zucker vorhanden war; der zur vollständigen Verbrennung erforderliche O wurde vom Kupferoxyd abgegeben.

der drei Elemente in jeder Molekel Zucker enthalten sein können, dividieren wir die gefundenen Zahlen durch die Atomgewichte. Wir erhalten so

$$\frac{39{,}72}{12}\text{C}:\frac{6{,}70}{1}\text{H}:\frac{53{,}58}{16}\text{O}$$
$$= 3{,}31\ \text{C}:6{,}70\ \text{H}:3{,}35\ \text{O}$$

Da die Anzahl der Atome nur durch ganze Zahlen ausgedrückt werden kann, so runden wir ab auf

3 Atome C, 6 Atome H und 3 Atome O.

Wir können dies um so mehr thun, da die Abweichungen sicher auf die niemals zu vermeidenden Fehler zu schieben sind. Wir können also annehmen, dass die Formel des Zuckers $C_3H_6O_3$ sei; aber mit demselben Recht könnten wir auch schreiben CH_2O oder $C_2H_4O_2$ oder allgemein $(CH_2O)_n$, worin n irgend eine ganze Zahl bedeutet. Denn alle diese Formeln stimmen gleich gut zu dem Ergebnis der Analyse, durch welche ja nur das Gewichtsverhältnis der drei Bestandteile gefunden worden ist. Berechnen wir aus einer dieser Formeln die prozentische Zusammensetzung des Zuckers, so ergiebt sich

$$40\,\%\ \text{C}\quad 6{,}66\,\%\ \text{H}\quad 53{,}33\,\%\ \text{O},$$

was von den in der Analyse gefundenen Zahlen eben wegen der bei den Wägungen u. s. w. begangenen Versuchsfehler etwas abweicht.

Alle diese Formeln haben also die gleiche Wahrscheinlichkeit ihrer Richtigkeit. Um eine von ihnen vor den anderen zu bevorzugen, müssen wir nach einem Entscheidungsgrund suchen. Dazu giebt es nur ein Mittel: wir müssen das Molekulargewicht des Zuckers bestimmen.

12. Die Bestimmung der Dampfdichte ist beim Zucker nicht möglich, da er nicht in Gasform übergeführt werden kann, sondern sich bei der Erhitzung zersetzt. Wir wollen daher den Versuch mit einer anderen Substanz wiederholen, welche wie der Zucker nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, aber leicht ohne Zersetzung als Gas beobachtet werden kann. Wir wählen hierzu den Äther. 12. Analyse und Berechnung der Formel für Äther.

Äther (genauer Äthyläther) ist eine wasserhelle, leicht bewegliche Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 0,725, sehr flüchtig und entzündlich. Er brennt mit leuchtender Flamme; bei der Verbrennung entsteht nur Kohlendioxyd und Wasser. Die Analyse ergiebt, dass 100 Teile enthalten

C	64,865
H	13,513
O	21,622
	100,000

Dividiert man diese Zahlen durch die Atomgewichte der Elemente, so erhält man für

C 64,865 : 12 = 5,405
H 13,513 : 1 = 13,513
O 21,622 : 16 = 1,351

Die zweite Zahl verhält sich zur letzten wie 10 : 1, die erste zur letzten wie 4 : 1. Nehmen wir also an, die Äthermolekel enthalte 1 Atom Sauerstoff, dann muss sie 10 Atome Wasserstoff und 4 Atome Kohlenstoff enthalten. Die Formel des Äthers würde also $C_4H_{10}O$ oder irgend ein Vielfaches derselben sein können. Nehmen wir die einfachste dieser Formeln ($C_4H_{10}O$) an, so würde sich daraus das Molekulargewicht des Äthers zu $4\times12+10\times1+1\times16=74$ berechnen.

Da sich Äther leicht und ohne Zersetzung in Dampf verwandeln lässt (er siedet bei 35°), so können wir seine Dampfdichte und damit sein Molekulargewicht bestimmen. Wir wägen eine gewisse Menge von Äther, verwandeln sie in Dampf, bestimmen, welchen Raum der Dampf einnimmt, messen genau die Temperatur und den Druck des Dampfes. Wir berechnen dann, wieviel ein gleiches Volum Wasserstoff bei derselben Temperatur und demselben Druck wiegt. Indem wir mit diesem letzteren Gewicht in das des Äthers dividieren, erhalten wir das spezifische Gewicht oder die Dichte des Ätherdampfes, bezogen auf die Dichte des Wasserstoffs als Einheit. Wir finden sie = 37.

Nun hat (vgl. § 7) eine Molekel Wasserstoff das Molekulargewicht 2, also ist das Molekulargewicht des Äthers $= 2 \times 37 = 74$. Also erweist sich von den vielen möglichen Formeln für Äther die einfachste $C_4H_{10}O$ als die richtige.

18. Stöchiometrische Methode.

13. Um richtige Formeln auch für Körper, deren Dampfdichte wir nicht bestimmen können, aufzustellen, giebt es verschiedene Wege, welche auf uns zum Teil schon bekannten Gesetzmäßigkeiten beruhen. Eine vielfach benutzte Methode, die stöchiometrische, besteht darin, dass man die Gewichtsmenge des zu untersuchenden Stoffes bestimmt, welche mit einer bekannten anderen Verbindung oder einem Element, dessen Atomgewicht bekannt ist, eine Verbindung eingeht. Angenommen, wir hätten die Essigsäure analysiert und gefunden, dass 100 Teile enthalten 40,00 C, 6,66 H und 53,33 O. Diese Zahlen geben, durch die Atomgewichte der drei Elemente dividiert, die Zahlen:

für C 40,00 : 12 = 3,33,
„ H 6,66 : 1 = 6,66,
„ O 53,33 : 16 = 3,33

Wir berechnen daraus die Formel: CH_2O oder ein Vielfaches derselben. Die Essigsäure verbindet sich mit Silber in der Weise,

dass 1 Atom Wasserstoff austritt und durch 1 Atom Silber ersetzt wird.[1]) Wird eine abgewogene Menge dieser Verbindung, des Silberacetats, geglüht, so wird die organische Substanz zerstört, das metallische Silber bleibt zurück. Das Gewicht des Rückstandes macht 64,7 % des Ganzen aus. Silberacetat besteht also aus 64,7 % Silber und 35,3 % organischer Substanz. Das Atomgewicht des Silbers ist 108. Also finden wir das Gewicht der organischen Substanz x durch die Proportion:

$$64{,}7 : 35{,}3 = 108 : x$$
$$x = 59$$

Addieren wir hierzu das Gewicht eines Atoms H, so erhalten wir für das Molekulargewicht der Essigsäure $59 + 1 = 60$. Die Formel CH_2O ergiebt $12 + 2 + 16 = 30$; wir müssen sie demnach verdoppeln und $C_2H_4O_2$ schreiben.

14. Sind die Körper, deren Molekulargröße bestimmt werden soll, löslich, so kann man die im sechsten Kapitel erörterten Eigenschaften der Lösungen zur Bestimmung benutzen. Isotonische Lösungen (vgl. Kap. 6 § 19) enthalten in gleichen Volumen des Lösungsmittels die gleiche Anzahl Molekeln des gelösten Körpers. Lösen wir also von einem Körper A, dessen Molekulargewicht schon bekannt ist, eine Grammmolekel in einem Liter Wasser und probieren aus, wieviel Gramm der anderen Substanz wir in einem Liter lösen müssen, damit beide Lösungen isotonisch werden, so haben wir damit die Grammmolekel, mithin auch das Molekulargewicht der zweiten Substanz B gefunden. 14. Die osmotische und andere Methoden.

Für diese Bestimmungen ist die Berechnung der Konzentration einer Lösung nach Grammmolekeln statt der gewöhnlichen nach Gewichtsprozenten sehr vorteilhaft. Sind in 100 cm^3 eines Lösungsmittels a, b oder c Gramm einer Substanz aufgelöst, so nennt man die Lösung a-, b- oder c-prozentig. Die Lösungen verschiedener Substanzen enthalten aber bei gleichem Prozentgehalt ungleiche Anzahl von Molekeln. Dividieren wir die Anzahl der Gramme einer Substanz durch ihr Molekulargewicht, so erhalten wir die Konzentrationsangabe in einer für die Vergleichung der osmotischen Drucke sehr bequemen Form.

Der Kalisalpeter hat die chemische Formel KNO_3, sein Molekulargewicht ist $= 101$. Sind 5,05 g Salpeter in 100 g Wasser gelöst, so sagen wir, die Lösung sei 5,05 prozentig. Eine solche Lösung würde im Liter enthalten 50,5 g. Dividieren wir letztere Zahl durch 101, so erhalten wir 0,5; die Lösung enthält also $^1/_2$ Grammmolekel im Liter. Eine

[1]) Woher wir das wissen, wird später (vgl. Kap. 9) klar werden. Dass die prozentische Zusammensetzung der Essigsäure die gleiche ist wie die des Zuckers, ihre richtige Formel aber eine andere, ist ein gutes Beispiel für die Wichtigkeit der Kenntnis dieser letzteren.

solche Lösung erweist sich als isotonisch mit einer Traubenzuckerlösung von 18 %, oder von 180 g Zucker im Liter. Man müsste also schließen, dass 180 die Hälfte der Grammmolekel des Traubenzuckers, also das Molekulargewicht des letzteren = 360 sei. Dieser Schluss erweist sich aber als falsch. Man muss die Zahl halbiren; das Molekulargewicht des Traubenzuckers ist = 180. Die Gründe für diese Abweichung wurden S. 151 und S. 162 schon angedeutet. Näheres s. in § 16.

Aus der Elementaranalyse hatten wir für den Traubenzucker die unbestimmte Formel $(CH_2O)n$ abgeleitet. Setzen wir $n = 1$, so würden wir zu dem Molekulargewicht $12 + 2 + 16 = 30$ gelangen. Da aber das wahre Molekulargewicht = 180 ist, so muss die richtige Formel $C_6H_{12}O_6$ sein.

In vielen Fällen kann man die im siebenten Kapitel erwähnten Gesetzmäßigkeiten (Erhöhung des Siedepunktes, Erniedrigung des Gefrierpunktes, Bestimmung des elektrischen Leitvermögens) mit Vorteil zur Bestimmung des Molekulargewichts verwenden.[1])

Hat man es mit Stoffen zu thun, welche in Wasser gar nicht oder nicht ohne Veränderung löslich sind, so benutzt man andere Lösungsmittel: Alkohol, Benzin u. s. w. Mit Hilfe der einen oder der anderen dieser letzten Methoden ist es gelungen, die Molekulargewichte von Stoffen zu bestimmen, bei denen die Methode der Dampfdichtebestimmung und die stöchiometrische Methode nicht anwendbar sind. Dennoch giebt es noch, besonders unter den für die Physiologie wichtigsten Stoffen, manche, bei denen keine der bisher bekannten Methoden zum Ziele führt, bei denen wegen der Schwierigkeiten der Reindarstellung auch die Elementaranalyse nur einen ungefähren Anhalt für die Aufstellung einer Formel gewährt. Für diese müssen wir es vorderhand bei der Angabe der prozentischen Zusammensetzung bewenden lassen oder sind höchstens imstande, eine Formel aufzustellen, die eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit für sich hat.

15. Dissoziation der Gase.

15. Die in Vorstehendem besprochenen Atomkomplexe, welche wir Molekeln nennen, darf man sich nicht als starre Gebilde vorstellen. Wir haben guten Grund anzunehmen, dass nicht nur die Molekeln in fortwährender Bewegung sind, sondern dass auch innerhalb jeder Molekel die Atome sich gegeneinander innerhalb enger Grenzen bewegen, aber so, dass dadurch der gemeinsame Schwerpunkt unverrückt bleibt. Auch diese Bewegungen nehmen an Geschwindigkeit zu, wenn die Temperatur steigt; bei genügend hoher Temperatur kann die Entfernung der Atome so groß werden, dass ihre gegenseitige Anziehung (ihre Verwandtschaft) überwunden wird. Dann kommt es zu einem Zerfall der Molekel, sei es in ein-

[1]) Ob diese Methoden auch auf die unechten Lösungen von Kolloidsubstanzen ohne weiteres übertragbar sind, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

zelne Atome, sei es in kleinere Atomgruppen. Daher können sehr viele chemische Verbindungen durch genügende Erwärmung zerlegt werden, besonders solche, deren Bestandteile alle oder zum Teil gasförmig sind oder bei höherer Temperatur gasförmig werden.

Man nennt diese Art der Zerlegung Dissoziation. Erhitzt man z. B. Quecksilberoxyd in einem schwer schmelzbaren Glasrohr, so zerfällt es in Quecksilberdampf und Sauerstoff; ersterer schlägt sich an den kälteren Stellen des Rohrs als flüssiges Quecksilber nieder, während der Sauerstoff als Gas entweicht. Dieser Zerfall findet auch schon bei geringerer Erwärmung, ja sogar bei Zimmerwärme statt, aber viel langsamer. Erhitzt man Ammoniumchlorid, NH_4Cl, so verdampft es; aber gleichzeitig findet Zerfall statt, und bei Temperaturen über 350° ist nur noch ein Gemenge von Ammoniak, NH_3, und Chlorwasserstoff, HCl, vorhanden. Da die Zerlegung bei Temperaturen unterhalb dieser Grenze eine unvollständige ist, so bestehen dann Ammoniumchlorid-, Ammoniak- und Chlorwasserstoffmolekeln nebeneinander.[1]) Je höher die Temperatur steigt, desto zahlreicher werden die letzteren, desto geringer die ersteren.

Da das Volum oder der Druck eines Gases von der Anzahl der in einem Raum vorhandenen Molekeln abhängt, so folgen Gase, welche bei steigender Temperatur sich immer mehr dissoziieren, scheinbar nicht dem Gay-Lussac'schen bezw. Boyle-Mariotte'schen Gesetz (s. Kap. 6, § 2 und 3). Ihre Volume nehmen bei konstantem Druck schneller zu, als der Temperatursteigerung entspricht. Gleichzeitig nimmt die Dichte ab; sie ist bei Temperaturen, bei denen die Dissoziation vollständig ist, genau halb so groß, als sie nach dem Molekulargewicht der Verbindung sein sollte.

Ähnliche Erscheinungen wie Chlorammonium zeigt u. a. Phosphorpentachlorid, welches bei Temperaturen über 182° in Phosphortrichlorid und Chlor zerfällt: $PCl_5 = PCl_3 + Cl_2$. Aber auch Elemente, also Körper, deren Molekeln aus lauter gleichen Atomen bestehen, können durch Temperaturerhöhung in einzelne Atome oder in Molekeln von kleinerer Atomzahl zerfallen. Joddampfmolekeln bestehen bei niederer Temperatur aus je 2 Atomen; bei Temperaturen über 500° aber beginnen die Atome sich zu trennen und bei etwa 1500° sind sie alle einzeln vorhanden, die Dichte des Joddampfes ist bei diesen Temperaturen halb so groß als unterhalb 500°.

[1]) Da Ammoniak das Molekulargewicht 17, Chlorwasserstoff das Molekulargewicht 36,2 hat, so gehen die Molekeln des letzteren langsamer durch poröse Scheidewände. Leitet man die Dämpfe in ein Rohr, in welches eine solche Wand eingesetzt ist, so häuft sich der Chlorwasserstoff vor derselben an, während das Ammoniak schneller in die andere Abteilung des Rohrs übergeht.

Aus der Bestimmung der Gas- oder Dampfdichte der Elemente und ihrer Verbindungen hat sich ergeben, dass die Molekeln der Elemente Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Bromdampf, Joddampf unter 500° und Fluor aus je zwei Atomen zusammengesetzt sind; die Molekeln der Elemente, welche bei niederen Temperaturen fest sind, wie Jod, Phosphor, Schwefel, Arsen u. a. sind in diesem Zustande wahrscheinlich aus einer größeren Zahl von Atomen zusammengesetzt. Diejenigen, welche in Gasform übergehen können, zerfallen dabei in kleinere Molekeln; Schwefel ist dann zwei-, Phosphor vieratomig.

Die zwei Atome der Halogene (Chlor, Jod, Brom, Fluor) trennen sich leicht voneinander bei Gegenwart von Körpern, mit denen sie sich verbinden können. Aus einer Molekel Chlor z. B. entstehen bei Gegenwart von Natrium zwei Molekeln Chlornatrium. Man sagt deshalb, diese Elemente seien sehr reaktionsfähig. Im Vergleich zu ihnen sind Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff träge, weil ihre Atome fester zusammenhängen. Werden sie jedoch durch stärkere Einwirkungen voneinander getrennt oder werden ihre Atome aus irgend welchen Verbindungen frei gemacht, dann sind diese freien Atome, ehe sie Zeit haben, sich zu Molekeln aneinander zu legen, auch sehr reaktionsfähig. Man nennt diesen Zustand der freien Atome den *Status nascendi*.

Die Atome der neu entdeckten Elemente Argon und Helium sind noch viel träger; sie haben ein sehr geringes Verbindungsvermögen. Wahrscheinlich bleiben ihre Atome einzeln, so dass jede Molekel nur aus einem Atom besteht. Dasselbe gilt wahrscheinlich für alle Metalle; bewiesen ist es für diejenigen, welche in Dampfform beobachtet und deren Dampfdichte gemessen werden konnte. Ihre gasförmigen Verbindungen haben genau das gleiche Volum wie der Metalldampf, welcher in ihnen enthalten ist.[1])

16. Dissoziation gelöster Stoffe.

16. Wir haben in Kap. 6 gesehen, dass sich die Molekeln eines gelösten Körpers verhalten wie die eines Gases. Sie bewegen sich innerhalb des Lösungsmittels nach denselben Gesetzen wie die Gasmolekeln im leeren Raum und üben dementsprechend einen osmotischen Druck aus, welcher wie der Druck der Gase der absoluten Temperatur proportional ist. Indem wir auch hier annehmen, dass neben diesen Molekularbewegungen schwingende Bewegungen der Atome innerhalb der Molekularkomplexe stattfinden, und dass auch diese bei steigender Temperatur an Energie zu-

[1]) Alle Metalle unterscheiden sich von sämtlichen übrigen Elementen, den Metalloiden, zu denen auch Argon und Helium trotz ihrer einatomigen Molekeln gehören, durch eine Anzahl gemeinsamer Eigenschaften, insbesondere durch ihr gutes Leitungsvermögen für Wärme und Elektrizität.

nehmen, erklärt es sich, warum auch dabei Dissoziation eintreten kann. Dieser Zerfall der Molekeln tritt aber nicht bei allen löslichen Körpern auf, sondern nur bei solchen, welche in ihren Lösungen die Elektrizität leiten und dabei zersetzt werden, den sogenannten Elektrolyten. Die entstehenden zwei Komponenten können Atome sein oder Atomgruppen. Die Dissoziation ist um so erheblicher, je höher die Temperatur und je verdünnter die Lösung ist. In einer Lösung von Kalisalpeter KNO_3 z. B. befinden sich nebeneinander Molekeln von KNO_3, von K und von NO_3. Je verdünnter die Lösung ist, desto zahlreicher sind die beiden letzteren; der osmotische Druck nähert sich daher bei starker Verdünnung immer mehr dem doppelten Wert des aus dem Molekulargewicht berechneten. Das ist der Grund, warum wir (s. S. 188) bei der Vergleichung des osmotischen Drucks einer Salpeterlösung mit dem einer Traubenzuckerlösung die für das Molekulargewicht des Zuckers gefundene Zahl mit 2 dividieren mussten. (Vgl. auch S. 162.) Man muss darauf bei allen Bestimmungen des Molekulargewichts aus dem osmotischen Druck, der Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung Rücksicht nehmen. Denn alle diese hängen von der Anzahl der in der Volumseinheit gelösten Molekeln ab. Werden in verdünnten Lösungen der Elektrolyte die Molekeln gespalten, so wird der osmotische Druck größer, als er nach dem Molekulargewicht des gelösten Stoffes berechnet werden konnte.

Taucht man in die Lösung eines Elektrolyten zwei Platinbleche und erteilt diesen durch Verbindung mit einer galvanischen Säule verschiedene Spannungen $+e$ und $-e$, so wandern die dissozierten Bestandteile, mit verschiedenen Elektrizitäten beladen, in entgegengesetzter Richtung, übertragen dadurch die ihnen anhaftenden Elektrizitätsmengen und leiten so den Strom. Man nennt deshalb die beiden Bestandteile Jonen oder Jonten, d. h. Wanderer. Die einen, welche die positive Elektrizität von der positiven Elektrode (Anode) zur negativen (der Kathode) übertragen, nennt man Kationten, die anderen, welche die negative Elektrizität zur Anode übertragen, Anionten. An den Elektroden geben sie die ihnen anhaftende Elektrizität an diese ab und treten aus der Lösung aus, entweder, wenn sie gasförmige Molekeln bilden, als solche, oder in fester Form, wie die meisten Metalle, oder geben Anlass zu sekundären Zersetzungen. Die Elektrolyte leiten also die Elektrizität nur, indem sie zugleich zerlegt werden. Anders die Metalle; diese können die ihnen mitgeteilte elektrische Spannung direkt von Atom zu Atom übertragen.

Ist der eine Bestandteil eines gelösten Stoffes bei der Temperatur der Lösung gasförmig, so kann er infolge der Dissoziation

aus der Lösung entweichen, um so leichter, je geringer der Partialdruck des betreffenden Gases über der Lösung ist. Dieser Vorgang spielt eine wichtige Rolle bei der Atmung, der Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd, welche stete Begleiter aller Lebenserscheinungen sind (vgl. Kap. 11 § 9 und Kap. 16). Bei den höheren Tieren wird die Atmung durch das Blut vermittelt. In diesem findet sich, in den roten Blutkörperchen, ein roter Farbstoff, Hämoglobin, welcher Sauerstoff zu binden vermag, und, in der Blutflüssigkeit, dem Plasma, gelöst, allerlei Salze, besonders Alkalikarbonate und -phosphate, welche Kohlendioxyd zu binden vermögen. Kommt Blut mit einem luftleeren Raum in Berührung, so entweichen nicht nur die absorbierten Gase, sondern auch die durch die Dissoziation frei werdenden. Kommt es mit O-armer Luft in Berührung, so entweicht der Sauerstoff; kommt es mit Luft, die arm an Kohlendioxyd ist, in Berührung, so entweicht dieses aus dem Blut. Das Hämoglobin verliert allen an dasselbe gebundenen Sauerstoff, wenn dessen Partialdruck in der mit dem Blut in Berührung kommenden Luft unter 10 mm hg sinkt. Natriumbikarbonatlösungen geben durch Dissoziation nicht alle Kohlensäure ab[1]); ein Teil derselben ist fester gebunden und kann nur durch Säuren, welche eine stärkere Verwandtschaft zum Natrium haben, abgespalten werden. Im trockenen Zustande verliert Sauerstoffhämoglobin seinen Sauerstoff nicht; gepulvertes Natriumbikarbonat dagegen giebt einen Teil seiner Kohlensäure, wenn auch langsam, auch an trockene atmosphärische Luft, schneller bei höherer Temperatur ab.

Natriumkarbonatlösungen, welche man mit Kohlendioxyd unter verschiedenen Drucken behandelt, folgen nicht einfach dem Henry-Dalton'schen Absorptionsgesetz (Kap. 6 § 14), weil es sich nicht um einfache Absorption handelt, sondern um verwickelte Vorgänge, bei denen chemische Bindung und Dissoziation mitwirken. Das Gleiche gilt für Hämoglobinlösungen gegenüber dem Sauerstoff und für Blut gegenüber beiden Gasen.

[1]) Über das Verhältnis von Kohlensäure zu Kohlendioxyd s. Kap. 9 § 9.

Neuntes Kapitel.

Konstitution der chemischen Verbindungen.

1. Die in den ersten Paragraphen des vorigen Kapitels geschilderten Methoden zur Zerlegung und Herstellung von Verbindungen lassen sich als chemische Reaktionen durch physikalische Mittel bezeichnen. Es waren teils Synthesen, teils Analysen. Anders verlaufen in der Regel die Reaktionen durch rein chemische Mittel. 1. Substitution.

Metallisches Natrium, mit Wasser in Berührung gebracht, kann sich entzünden und unter Gasentwickelung verbrennen. Das Gas kann in einem übergestülpten Gefäße aufgefangen werden; es erweist sich als reines Wasserstoffgas. Man sagt deshalb, das Natrium habe das Wasser zersetzt und Wasserstoff frei gemacht.

Um zu erfahren, was aus dem Natrium und dem Sauerstoff des Wassers geworden ist, müssen wir das zurückbleibende Wasser untersuchen.

Chemisch reines Wasser hat keinen merklichen Geschmack; es verändert blaues oder rotes Lakmuspapier nicht. Das Wasser, mit welchem der Versuch angestellt wurde, hat dagegen einen zwar schwachen, aber merklichen Geschmack, den man als „laugenartig" bezeichnen kann, und bläut rotes Lakmuspapier.

Stellt man den Versuch mit einer größeren Menge Natrium an, so kann man durch Verdampfen des Wassers das eine Produkt des Versuchs gewinnen (das andere Produkt ist Wasserstoff). Beim Verdampfen des Wassers bleibt eine weiße, strahlig krystallinische, etwas durchscheinende Masse zurück, welche an der Luft leicht zerfließt. Diese Masse war in dem Wasser aufgelöst; sie muss bei der Reaktion neben dem Wasserstoff entstanden sein.

Die chemische Analyse zeigt, dass die Substanz aus Natrium, Sauerstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist, und dass ihr die Formel NaOH zukommt. Wir nennen sie Natriumhydroxyd. Wasser besteht, wie wir wissen, aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, hat also die Formel H_2O. Somit können wir die

chemische Reaktion, welche bei unserem Versuch stattgefunden hat, durch folgende Gleichung darstellen:

$$H_2O + Na = NaOH + H.$$

Wasser. Natrium. Natrium-hydroxyd. Wasserstoff.

Wir hätten also anzunehmen, dass aus dem Wasser ein Atom Wasserstoff aus- und ein Atom Natrium an seine Stelle getreten ist. Eine solche Reaktion nennt man eine Substitution. Wir können sozusagen das Natriumhydroxyd ansehen als ein Wasser, in welchem 1 Atom Wasserstoff durch 1 Atom Natrium ersetzt ist. Solche Substitutionen kommen außerordentlich häufig vor. Man kann alle bekannten chemischen Verbindungen aus einigen wenigen Typen ableiten, indem man einzelne Atome der in diesen Typen gegebenen Verbindungen durch andere Atome ersetzt denkt.

Wir haben schon die Verbindung Chlorwasserstoff kennen gelernt, deren Formel HCl ist. Dieselbe ist gasförmig. Dieses Gas wird von Wasser reichlich absorbiert; 1 Volum Wasser nimmt bei mittlerer Zimmertemperatur etwa 400 Volume des Gases auf. Fügt man Wasser, welches HCl absorbiert enthält, zu einer gesättigten Lösung von Natriumhydroxyd, so scheidet sich eine weiße krystallinische Masse aus. Die nähere Untersuchung ergiebt, dass es Kochsalz oder Natriumchlorid ist, dessen Zusammensetzung durch die Formel NaCl ausgedrückt wird. Die Reaktion kann dargestellt werden durch die Gleichung:

$$HCl + NaOH = NaCl + HOH$$

Chlorwasserstoff. Natriumhydroxyd. Natriumchlorid. Wasser.

Chlorwasserstoff und Natriumhydroxyd setzen sich um in Natriumchlorid und Wasser.

Hier haben wir einen Austausch der verbundenen Stoffe oder eine doppelte Substitution. Aus HCl ist unter Austritt von H und Eintritt von Na die Verbindung NaCl entstanden, während das frei gewordene H-atom gleichzeitig in der Verbindung NaOH an die Stelle des Na getreten ist und so wieder Wasser gebildet hat. Konnten wir NaOH als eine Art von Wasser ansehen, in dem ein H durch Na vertreten ist, so können wir ebenso NaCl als eine Art von HCl betrachten, in welchem H durch Na vertreten ist.

2. Säuren, Basen, Salze.

2. Die drei Körper, welche wir hier kennen gelernt haben, zeigen gewisse Eigenschaften, wegen derer sie als Typen für ganze Gruppen von Verbindungen (in einem anderen Sinne als in § 1) gelten können. Die Lösung des Natriumhydroxyds schmeckt

laugenhaft und bläut rotes Lakmuspapier. Die Chlorwasserstofflösung schmeckt sauer, lässt rotes Lakmuspapier unverändert, rötet aber blaues. Reines Wasser schmeckt weder sauer noch laugenhaft und vermag weder rotes Lakmuspapier zu bläuen noch blaues zu röten. Die Änderungen der Färbung müssen von den im Wasser gelösten Substanzen, dem Natriumhydroxyd einerseits und dem Chlorwasserstoff andererseits herrühren. Ebenso wie reines Wasser ist auch die beim Mischen jener beiden Lösungen entstandene Lösung des Natriumchlorids auf rotes wie auf blaues Lakmuspapier ohne Wirkung, sie unterscheidet sich aber im Geschmack von reinem Wasser; sie schmeckt salzig.

Körper, die sich wie die Chlorwasserstofflösung verhalten, nennt man Säuren; Körper, die sich wie das Natriumhydroxyd verhalten, nennt man Basen. Man sagt von den ersteren, dass sie sauer, von den letzteren, dass sie basisch oder alkalisch reagieren. Körper, welche wie Natriumchlorid aus der Wechselwirkung einer Säure und einer Base entstehen und sich wie dieses verhalten, nennt man Salze. Wenn sie weder rotes Lakmuspapier bläuen, noch blaues röten, so sagt man, sie reagieren neutral. Es giebt aber auch Salze, welche saure, und andere, welche basische Reaktionen zeigen.

Die Bildung von NaCl aus HCl und NaOH ist unter gleichzeitiger Bildung von Wasser erfolgt. Chlor und Natrium können sich auch verbinden, wenn sie direkt zusammengebracht werden. Diese Reaktion verläuft bei höherer Temperatur sehr lebhaft. Wenn man Natrium in Chlorgas erhitzt, vereinigen sich beide unter Flammenentwickelung direkt zu NaCl; dasselbe erscheint als weißer Dampf, welcher sich an den kälteren Stellen des Apparats in fester Form niederschlägt. Erhitzt man Natrium in einem Strom von Chlorwasserstoffgas, so bildet sich gleichfalls Natriumchlorid; gleichzeitig wird aber Wasserstoff frei. Diese Vorgänge können dargestellt werden durch die Gleichungen:

	Cl	+	Na	=	NaCl		
	Chlor		Natrium		Natriumchlorid		
und	HCl	+	Na	=	NaCl	+	*H*
	Chlorwasserstoff		Natrium		Natriumchlorid		Wasserstoff

3. Aus diesen verschiedenen Reaktionen können wir einige Schlüsse auf die Eigenschaften der verschiedenartigen Atome ziehen. Wir können sagen, die Atome verbinden sich, weil sie eine Verwandtschaft zu einander haben. Es ist das freilich nur ein Name für eine Eigenschaft, welche wir den Atomen zuschreiben, und die wir nicht genauer kennen. Aber es stellt doch das thatsächliche Verhältnis gut dar. Wir können ferner schließen, dass diese Ver- 3. Chemische Verwandtschaft der Atome.

wandtschaften verschiedene Grade haben. Wenn Na aus der Verbindung H_2O das eine Atom H verdrängt, so muss ihm offenbar zu dem Rest OH eine Verwandtschaft zugeschrieben werden, die größer ist, als die Verwandtschaft zwischen diesem Rest OH und dem zweiten H-atom. Ebenso müssen wir zwischen Cl und Na eine stärkere Verwandtschaft annehmen als zwischen Cl und H, da dieses letztere von Na verdrängt werden kann. Zwischen Na und H endlich kann nur eine geringe Verwandtschaft bestehen, denn beide verbinden sich bei gewöhnlicher Temparatur nicht, sondern dazu bedarf es eines Bindemittels, als welches in der Verbindung NaOH das O dient.

Wenn H und Cl sich zu HCl verbinden, ist der Körper, der entsteht, eine Säure. Wenn Na und Cl sich verbinden, so entsteht ein Salz. O und H verbinden sich zu Wasser H_2O, einem vollkommen neutralen und indifferenten Stoff.[1]) Endlich haben wir in der Verbindung NaOH eine Base kennen gelernt. Wir ersehen daraus, dass auch Na, ebenso wie Cl, Verbindungen verschiedener Art liefert, je nach der Natur des anderen Bestandteils, mit dem es sich vereinigt.

Die verschiedenen Elemente wirken also je nach den ihnen innewohnenden Eigenschaften verschieden, aber diese Eigenschaften werden auch von den anderen Elementen, mit denen sie sich verbinden, beeinflusst. Es scheint, dass dies mit den elektrischen Eigenschaften zusammenhängt, welche den Atomen der Elemente sowie gewissen Atomgruppen zukommen, auf welche schon in Kapitel 8 § 16 hingewiesen worden ist. Da die Molekelbruchstücke, in welche die Molekeln der Elektrolyte zerfallen, sich elektrisch verschieden verhalten, so müssen die Atome und Atomgruppen bestimmte elektrische Eigenschaften besitzen, welche wahrscheinlich ihre Verbindungsfähigkeit beeinflussen.

Ähnlich wie Chlor verhalten sich Jod, Brom und Fluor. Auch diese verbinden sich mit Wasserstoff zu Säuren: HJ, HBr, HFl und mit Natrium, Kalium und anderen Metallen zu Salzen. Wegen dieser letzteren Eigenschaft hat man die ganze Gruppe Salzbildner, Halogene, genannt. Dem Natrium ähnlich sind Kalium, Lithium, und Silber, welche mit OH zu Hydroxyden zusammentreten. Das Charakteristische an den vier Säuren HCl, HJ, HBr, und HFl ist, dass das Wasserstoffatom bei Berührung mit den genannten Metallen oder den aus ihnen entstehenden Basen verdrängt wird, so dass dabei die betreffenden Salze NaCl, KCl, LiCl, und AgCl oder die entsprechenden Jod-, Brom- oder Fluorsalze entstehen. Das ge-

[1]) Trotz dieser Indifferenz spielt Wasser bei fast allen chemischen Reaktionen eine wichtige Rolle, entweder indem es die in ihm gelösten Stoffe erst in die Lage bringt, aufeinander einzuwirken, oder dass es selbst zerlegt wird und seine Bestandteile H und O sich an den Reaktionen beteiligen.

schieht unter Austritt von freiem H, wenn die Säure direkt auf Metall wirkt, dagegen unter gleichzeitiger Bildung von Wasser, wenn Säure und Hydroxyd aufeinander wirken, wie dies oben für Chlorwasserstoff durch die Formelgleichungen dargethan wurde. Das Gleiche gilt von allen Säuren; in allen findet sich mindestens ein H-atom, welches leicht durch Metalle ersetzbar ist und dann zur Bildung von Salzen führt. Während aber bei HCl, HJ, HBr und HFl das H-atom direkt an dem anderen Atom haftet, ist es bei einer anderen Gruppe von Säuren an O gebunden. Wir werden auf diesen Punkt noch zurückkommen.

4. Valenz oder Wertigkeit der Elemente.

4. In den Körpern HCl, HJ, HBr, HFl, NaCl, KCl, LiCl, AgCl haben wir Verbindungen kennen gelernt, welche aus je einem Atom zweier verschiedener Elemente bestehen. Jedes der erwähnten Metalle kann ebenso wie mit Cl auch mit J, Br, Fl Verbindungen nach demselben Typus eingehen. Anders verhalten sich die Verbindungen eines dieser Elemente mit Sauerstoff. O verbindet sich mit 2 H zu Wasser H_2O, oder mit einem H und einem Na zu Natriumhydroxyd NaOH. Nach diesem letzteren Typus sind auch die Hydroxyde der anderen, von uns bisher besprochenen Metalle gebaut: Kaliumhydroxyd KOH, Lithiumhydroxyd LiOH, Silberhydroxyd AgOH.[1])

Es besteht also ein wesentlicher Unterschied zwischen den Elementen H, Cl, J, Br, Fl, Na, K, Li, Ag einerseits und dem Element O andererseits. Der Sauerstoff steht aber in dieser Beziehung nicht allein. Ebenso wie er verhält sich z. B. Schwefel. Wir kennen eine Verbindung H_2S, Schwefelwasserstoff oder Wasserstoffsulfid, eine Verbindung Cl_2S, (Schwefeldichlorid oder Chlorsulfid) u. s. w. Noch anders wieder verhält sich Stickstoff; dieser verbindet sich mit 3 Atomen H zu Ammoniak NH_3, welchem Typus die Verbindung NCl_3 (Stickstofftrichlorid) und ähnliche entsprechen. Endlich giebt es eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff CH_4, Grubengas oder Methan genannt, der die analoge Verbindung CCl_4, Chlorkohlenstoff entspricht.

Die Verwandtschaft oder das Verbindungsvermögen der Elemente weist also noch in einem anderen Sinne, als wir dies schon in § 3 gesehen haben, verschiedene Grade auf. Ein Atom Chlor kann nur 1 Atom Wasserstoff oder Natrium binden, ein Atom Sauerstoff 2 Atome Wasserstoff oder 2 Atome Chlor. Stickstoff bindet 3 von jenen Atomen und Kohlenstoff je 4. Die von einem Atom Sauerstoff gebundenen Atome können gleichartig sein, wie im Wasser H_2O, oder auch verschieden, wie im Natriumhydroxyd NaOH. Indem man die so gewonnene Er-

[1]) Für das Silber treffen die hier angegebenen Reaktionen nur unter bestimmten, nicht leicht herzustellenden Bedingungen zu.

kenntnis verfolgt, kommt Ordnung und Klarheit in das auf den ersten Blick scheinbar regellose Gewirre der zahlreichen chemischen Verbindungen.

Um die Unterschiede, welche in dieser Beziehung zwischen den Elementen bestehen, zu bezeichnen, sagt man, die Elemente haben verschiedene Wertigkeit oder Valenz. Wasserstoff ist einwertig, Sauerstoff ist zweiwertig, Stickstoff dreiwertig, Kohlenstoff vierwertig. Von den für die Chemie der lebenden Wesen wichtigen Elementen sind:

Einwertig: H, Cl, Br, J, Fl, K, Na, Li, (Ag)[1])
Zweiwertig: O, S, Ba, Ca, Mg, Fe[1])
Dreiwertig: N[1]), P[1])
Vierwertig: C, Si.

Wenn ein Atom eines Elementes der ersten Reihe sich mit einem Atom eines anderen Elementes derselben Reihe verbindet, so ist, da jedes derselben einwertig ist, dem Bindungsvermögen beider Genüge gethan, die Verbindung ist, wie man sagt, gesättigt. Wenn aber ein Atom eines einwertigen Elements mit einem Atom eines zweiwertigen zusammentritt, so bleibt eine der Valenzen noch frei. Das zweiwertige Element kann entweder noch ein Atom desselben oder auch eines anderen einwertigen Elementes binden. Um die Zahl der Valenzen anzudeuten, pflegt man dem Zeichen für das Element Striche anzufügen. Wir schreiben also: H′, Cl′, Br′ u. s. w., dagegen O″, S″, N‴, C⁗ oder C^{IV}. Für die Verbindungen einwertiger Elemente benutzen wir folgende bildliche Darstellungen:

H—Cl	Na—Cl	K—Fl
Chlorwasserstoff	Natriumchlorid	Kaliumfluorid,

dagegen für Verbindungen zweiwertiger Elemente unter sich:

Ba=O	Ca=S
Baryumoxyd	Calciumsulfid

und für Verbindungen zwischen zwei- und einwertigen Elementen:

H—O—H	Na—O—H
Wasser	Natriumhydroxyd

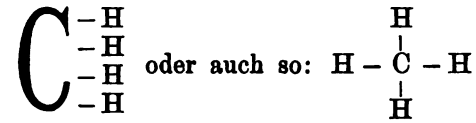
Ähnlich fällt die Darstellung aus für die Verbindungen drei-, vier- oder fünfwertiger Elemente unter sich oder mit Elementen der anderen Reihen, wovon im Folgenden Beispiele vorkommen werden.

5. Kohlenwasserstoffe.

5. Da für unsere Zwecke die genauere Kenntnis der organischen, d. h. kohlenstoffhaltigen Verbindungen besonders wichtig

[1]) Eisen, Stickstoff, Phosphor nehmen eine eigenartige Stellung ein, indem sie in verschiedenen ihrer Verbindungen verschiedene Anzahlen von Valenzen zu besitzen scheinen. Auf die Elemente mit mehr als vier Valenzen gehe ich nicht weiter ein, weil sie bei den in Lebewesen vorkommenden Verbindungen keine Rolle spielen. Silber habe ich in Klammern beigefügt, obgleich es in den lebenden Wesen nicht vorzukommen pflegt, weil es früher schon genannt worden war.

ist, wollen wir, von der Verbindung CH_4 Methan oder Grubengas ausgehend, die Kohlenstoffverbindungen etwas eingehender behandeln. Wir können das Methan bildlich so darstellen:



Denken wir uns von diesem Grubengas ein Atom Wasserstoff weggenommen, so bleibt die ungesättigte Restgruppe CH_3 übrig, bei welcher noch eine Valenz des Kohlenstoffs frei ist. Sie verhält sich ganz wie ein einwertiges Element, sie kann irgend ein wirkliches einwertiges Element (oder eine andere einwertige Atomgruppe) binden, z. B. Chlor, Brom, Jod. Von einwertigen Elementen unterscheidet sich die Atomgruppe CH_3 dadurch, dass sie nicht einfach, sondern aus Atomen verschiedener Elemente zusammengesetzt ist. Man nennt sie daher, um sie von den Atomen der Elemente zu unterscheiden, eine einwertige Atomgruppe oder ein einwertiges Radikal; um die Einwertigkeit zu bezeichnen, fügt man der Formel einen Strich bei, man schreibt also CH_3'. Die Radikale können isoliert nicht bestehen, wohl aber als besondere Atomgruppen mit anderen Atomgruppen oder einzelnen Atomen verbunden, wie aus den folgenden Auseinandersetzungen noch deutlicher hervorgehen wird.

Man hat dem Radikal CH_3' den Namen Methyl gegeben. Verbindet sich dasselbe mit einem einwertigen Atom z. B. Chlor, so entsteht die (jetzt wieder gesättigte) Verbindung $CH_3—Cl$, Methylchlorid oder Monochlormethan.[1])

Nehmen wir dem Methyl CH_3' noch ein Wasserstoffatom, so entsteht das zweiwertige Radikal Methylen CH_2'', welches durch Aufnahme von 2 Chloratomen zu $CH_2{=}Cl_2$, Methylenchlorid oder Dichlormethan, wird. Durch Verlust noch eines Wasserstoffs wird aus dem Methylen die dreiwertige Gruppe Methenyl CH''', welche durch Aufnahme von drei Chloratomen zu Methenylchlorid oder Trichlormethan, $CH{\equiv}Cl_3$ wird. Diese Verbindung ist bekannter unter dem Namen Chloroform. Wird noch ein Wasserstoff fortgenommen, so bleibt das vierwertige Atom Kohlenstoff C'''' übrig, welches sich mit vier Chloratomen zu $C{\equiv}Cl_4$, Tetrachlorkohlenstoff verbinden kann.

---

[1]) Bei diesen und den folgenden Beispielen sehen wir davon ab, wie weit die zur Erläuterung benutzten Reaktionen sich in Wirklichkeit praktisch ausführen lassen. In vielen Fällen kann das nur auf Umwegen geschehen, welche darzustellen für unsere Zwecke unnötig erscheint.

Wir haben also folgende Verbindungen kennen gelernt:

CH_4	CH_3Cl	CH_2Cl_2
Methan	Methylchlorid (Monochlormethan)	Methylenchlorid (Dichlormethan)
$CHCl_3$	CCl_4	
Methenylchlorid (Trichlormethan)	Tetrachlorkohlenstoff	

Analoge Verbindungen bestehen auch zwischen diesen kohlenstoffhaltigen Radikalen und anderen einwertigen Elementen, z. B. Jod oder Brom.

Kehren wir zu dem einwertigen Radikal CH_3' zurück. Zwei solcher Atomgruppen können sich miteinander vereinigen; es entsteht dann die Verbindung

$$CH_3—CH_3,$$

welche den Namen Äthan erhalten hat. Durch Fortnahme eines Wasserstoffatoms erhalten wir die einwertige Gruppe $CH_3—CH_2'$, Äthyl. Das Äthyl kann sich wieder mit Cl, J oder sonst einem einwertigen Element verbinden. Es kann sich aber auch an ein Methylradikal CH_3 anlagern; so kommen wir zu der Verbindung $CH_3—CH_2—CH_3$, welche Propan genannt wird. Aus ihr leitet sich ab durch Fortnahme eines H die einwertige Gruppe Propyl $CH_3—CH_2—CH_2'$. Durch erneute Anlagerung von CH_3 entsteht aus diesem das Butan $CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ u. s. f.

Die Chemiker haben eine große [1]) Anzahl von Verbindungen dieser Art kennen gelehrt, welche sich vom Methan ableiten lassen. Sie bilden eine fortlaufende Reihe, in welcher jede Verbindung sich von der vorhergehenden durch ein Plus von 1 C und 2 H unterscheidet, wie man an der Zusammenstellung der vier ersten sieht.

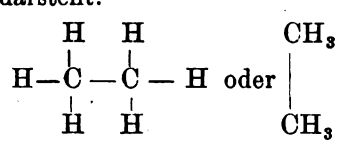
Methan		$= CH_4$
Äthan	$(CH_3—CH_3)$	$= C_2H_6$
Propan	$(CH_3—CH_2—CH_3)$	$= C_3H_8$
Butan	$(CH_3—CH_2—CH_2—CH_3)$	$= C_4H_{10}$.

6. Konstitutionsformeln.

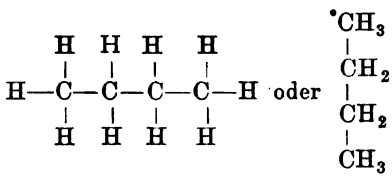
6. In den an letzter Stelle angegebenen Formeln CH_4, C_2H_6 u. s. w. ist nur ausgedrückt, dass in je einer Molekel eines der betreffenden

[1]) Man kennt derartige Verbindungen, welche bis zu 80 und mehr C-atome enthalten. Die Namen der vier im Text aufgeführten knüpfen an früher schon bekannte, mit ihnen in Beziehung stehende Stoffe an. Die höheren vom Butan aufwärts werden, unter Benutzung der griechischen Zahlwörter, nach der Anzahl der in ihnen vorhandenen C-atome, Pentan, Hexan u. s. w. genannt. Da dieselben nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, so nennt man alle diese Verbindungen Kohlenwasserstoffe der Methanreihe. Die höheren Glieder der Reihe, diejenigen mit sechzehn und mehr Kohlenstoffatomen sind im Paraffin, welches bei der Destillation des rohen Petroleums gewonnen wird, enthalten. Man nennt deshalb alle diese Kohlenwasserstoffe auch Paraffine oder Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe.

Stoffe so und so viel Atome Kohlenstoff und so und so viel Atome Wasserstoff enthalten sind. Diese Formeln drücken zugleich, wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, das Molekulargewicht der betreffenden Verbindung aus. Sie sind richtig, wenn die Elementaranalyse und die Bestimmung der Dampfdichte[1]) mit den Formeln übereinstimmende Ergebnisse liefern. Vergleicht man mit der Formel für Äthan C_2H_6 die in der Klammer stehende andere $CH_3—CH_3$, so sieht man, dass letztere Formel zwar zahlenmäßig dasselbe, in Wirklichkeit aber viel mehr besagt. Sie enthält die Behauptung, dass eine Molekel Aethan aus den zwei Gruppen CH_3' bestehe, oder dass in der Äthanmolekel jedes Kohlenstoffatom mit je drei Wasserstoffatomen verbunden sei, und dass die so beschaffenen Atomgruppen durch die noch freien vierten Affinitäten der beiden Kohlenstoffatome zusammenhängen. Noch deutlicher wird dies ausgedrückt, wenn man die molekulare Beschaffenheit des Äthans durch eines der folgenden Bilder darstellt:



In derselben Weise kann man für das Butan die bildliche Darstellung



anwenden, welche ausdrückt, dass in ihm zwei Methylgruppen $(CH_3)'$ durch zwei zwischengelagerte Methylengruppen $(CH_2)''$ miteinander verbunden sind.

Derartige Formeln geben also nicht bloß die numerischen Verhältnisse der Atome in einer Molekel an, sondern sie enthalten bestimmte Behauptungen über die Anordnung der Atome, über den Bau oder die Konstitution der Molekeln. Man nennt sie daher Struktur- oder Konstitutionsformeln, wogegen man die einfacheren Formeln, welche nichts weiter als Angaben über das Zahlenverhältnis der Atome enthalten, empirische Formeln nennt. Empirische Formeln erhält man durch die Ergebnisse der Elementaranalyse; kommt noch die Bestimmung des Molekulargewichtes

[1]) Oder eine der anderen Methoden zur Bestimmung des Molekulargewichtes, welche in Anwendung kommen, wenn der betreffende Stoff nicht in Gas- oder Dampfform gebracht werden kann.

hinzu, so wird aus der empirischen Formel eine rationelle oder, wie wir an einer früheren Stelle sagten, richtige. Für die Aufstellung von Konstitutionsformeln aber geht man von den Annahmen über die Valenzen der Atome aus. Man prüft die hypothetisch aufgestellten Formeln durch das Studium der Stoffe, welche durch Spaltung, Substitution und Synthese dargestellt werden können.

In zahlreichen Fällen haben sich hierfür die Chlor-, Jod- und Bromverbindungen der Kohlenwasserstoffe nützlich erwiesen. Stellt man z. B. aus dem Methan die Jodverbindung CH_3J dar und behandelt diese mit Natrium, so erhält man Äthan und Jodnatrium. Diese Reaktion wird durch die Formel dargestellt:

$$2\ CH_3J + 2\ Na = C_2H_6 + 2\ NaJ.$$

d. h. 2 Molekeln Methyljodid und 2 Atome Natrium geben 1 Molekel Äthan und 2 Molekeln Jodnatrium. Man kann das auch so ausdrücken: Wenn Natrium auf Methyljodid einwirkt, dann entzieht dasselbe dem Methyljodid das Jod, um sich mit ihm zu Jodnatrium zu verbinden; die beiden dadurch freigewordenen Methylgruppen vereinigen sich dann zu Äthan. Ist dies richtig, dann folgt, dass Äthan aus zwei Methylgruppen besteht. Und dieser Schluss wird bestätigt, indem man aus je einer Molekel Äthan durch geeignete Mittel wieder 2 Molekeln Methyljodid herstellen kann.

Ähnliches gilt auch von den folgenden Gliedern der homologen Reihe der Kohlenwasserstoffe. Aus Äthyljodid und Methyljodid kann man durch Einwirkung von Natrium Propan, aus Propyljodid und Methyljodid Butan u. s. w. zusammensetzen. Kurz, alle Untersuchungen sprechen für die Richtigkeit der hier vorgetragenen Lehre von der Art der Verbindungen der Atome in den Kohlenwasserstoffen.

7. Alkohole.

7. Aus jedem Körper der Methanreihe lassen sich eine große Anzahl von anders zusammengesetzten Körpern ableiten. Wir wollen aber nur solche weiter verfolgen, welche entweder in den Lebewesen vorkommen, oder welche zu besserem Verständnis des Aufbaus der in Lebewesen vorkommenden beitragen können.

Wenn wir aus der Verbindung H—O—H (Wasser) ein H fortgenommen denken, erhalten wir die einwertige Gruppe O—H', Hydroxyl. Wir hätten zur Aufstellung desselben und damit zu dem Begriff der Atomgruppen schon bei der Besprechung der Hydroxyde gelangen können. Denn das Natriumhydroxyd NaOH ist nichts anderes als eine Verbindung des einwertigen Elements Na' mit der ebenfalls einwertigen Atomgruppe Hydroxyl O—H'.

Ebenso wie mit einwertigen Elementen kann diese Atomgruppe auch mit anderen einwertigen Atomgruppen Verbindungen eingehen.

Durch Verbindung von Hydroxyl mit den Restgruppen der Methanreihe entstehen zusammengesetzte Körper, welche durch die

Anwesenheit der Hydroxylgruppe bestimmte chemische Eigenschaften erhalten. Man nennt sie, indem man den alten Namen eines derselben zum Gruppen- oder Gattungsnamen macht, Alkohole. Jedem Körper der Methanreihe entspricht ein (oder aus Gründen, die wir gleich kennen lernen werden, zuweilen mehr als ein) Alkohol.

Kohlenwasserstoffe:	Entsprechende Alkohole:
CH_4	CH_3OH
Methan	Methylalkohol
$CH_3—CH_3$	$CH_3—CH_2OH$
Äthan	Äthylalkohol
$CH_3—CH_2—CH_3$	$CH_3—CH_2—CH_2OH$
Propan	Propylalkohol
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2OH$
Butan	Butylalkohol
u. s. w.	u. s. w.

Propylalkohol ist entstanden durch Einführung der Hydroxylgruppe in eine der Methylgruppen des Propans.

Aus $CH_3—CH_2—CH_3$
ist geworden: $CH_3—CH_2—CH_2OH$

Die beiden Methylgruppen des Propans sind symmetrisch zu der sie verbindenden Methylengruppe CH_2 angeordnet. Wir können sie als gleichartige Glieder des ganzen Atomkomplexes betrachten. Wenn wir die Formel des Propylalkohols schreiben wollten

$$CH_2OH—CH_2—CH_3,$$

so würde das keinen Unterschied machen. Wenn wir dagegen die Hydroxylgruppe OH statt an die Stelle eines H in einer der Methylgruppen an die Stelle eines H in der diese verbindenden Methylengruppe setzen, dann erhalten wir etwas ganz Anderes. Bildlich dargestellt würden diese beiden Stellungen der Hydroxylgruppe zu folgenden Verbindungen führen:

(1) $\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}$ und (2) $\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_3 \end{matrix}$

Solche zwei Verbindungen sind also in verschiedener Weise aufgebaut; ihre Konstitution ist verschieden, trotzdem sie aus derselben Zahl von Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatomen bestehen. Die empirische Formel würde für beide sein C_3H_8O. Die Konstitutionsformeln sind aber durchaus verschieden.

Nun giebt es in der That zwei Alkohole, welche dieser empirischen Formel entsprechen, welche gleiche Molekulargewichte haben und dennoch verschieden sind in ihren physikalischen Eigenschaften und in ihren Reaktionen. Der eine siedet bei 97,4°, der andre bei 85°. Sie geben, mit denselben Mitteln behandelt, verschiedene Umwandlungsprodukte. Die Chemiker haben dem einen, welchem die Formel $CH_3—CH_2—CH_2OH$ zukommt, den Namen normaler Propylalkohol gegeben; den anderen, dessen Formel $CH_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3$ ist, nennen sie sekundären oder Isopropylalkohol.

Körper, welche bei gleicher Atomzusammensetzung dennoch verschieden sind infolge verschiedener Anordnung der Atomgruppen, nennt man isomer. Isomerie kommt bei den aus Methan und Äthan durch einfache Substitution abgeleiteten Verbindungen nicht vor, wohl aber bei allen Kohlenwasserstoffen, welche mehr als zwei Kohlenstoffatome enthalten[1]).

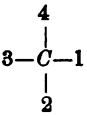
Alle Alkohole, welche aus den Kohlenwasserstoffen enstehen, haben eine Reihe von Eigenschaften miteinander gemein. Wenn HCl, HJ oder ähnliche H-verbindungen auf sie einwirken, so tritt Chlor (oder J) in die Kohlenstoffverbindung ein, während zugleich Wasser entsteht: z. B.

$$CH_3OH + HCl = CH_3Cl + H_2O.$$

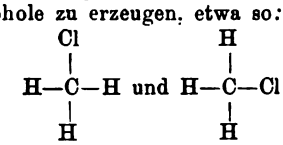
Bringt man dagegen den Alkohol in Berührung mit Kalium oder

---

[1]) Dass bei den durch Eintritt eines einwertigen Atoms oder einer einwertigen Gruppe entstehenden Verbindungen, die sich aus dem Methan CH_4 ableiten, keine Isomerie vorkommt, beweist, dass die vier Affimitäten des Kohlenstoffs untereinander gleichartig sind. Bezeichnen wir diese Affinitäten mit den Zahlen 1, 2, 3, 4, so würde, wenn eine von ihnen, etwa 4, einen anderen Wert



hätte als die drei anderen, es möglich sein, zwei verschiedene Monochlormethane oder 2 verschiedene Alkohole zu erzeugen, etwa so:



Da dies aber niemals gelungen ist, kann eine Verschiedenheit der vier Valenzen des Kohlenstoffatoms nicht bestehen. Ebensowenig kann sie für Athan vorhanden sein, da im $CH_3—CH_3$ die beiden Methylgruppen vollkommen gleich gebaut sind. Erst beim Propan beginnt die Möglichkeit der Isomerie, d. h. der Verschiedenheit bei gleicher Anzahl der einzelnen Atome, weil im Propan zwei Methyl- und eine Methylengruppe enthalten sind.

Natrium, so tritt das Metall an die Stelle des H der Hydroxylgruppe, und Wasserstoff tritt (in Gasform) aus:

$$CH_3OH + Na = CH_3ONa + H.$$

Im ersteren Falle verhält sich also der Alkohol wie ein Hydroxyd, in dem anderen wie eine Säure. Dennoch dürfen wir ihn weder eine Base noch eine Säure nennen; er reagiert weder sauer noch alkalisch, und die aus ihm entstehenden Chlor- oder Natriumverbindungen haben nicht die Eigenschaften von Salzen. Man bezeichnet die letzteren als Alkoholate der betreffenden Metalle. Aus dem Umstand, dass durch ein Alkalimetall das mit O verbundene H-atom leicht verdrängt werden kann, geht hervor, dass die besondere Stellung dieses H-atoms, seine Zugehörigkeit zur Hydroxylgruppe, bestimmend für seine Eigenschaften ist. Dieser Gruppe verdanken die Alkohole die Fähigkeit, mit Elementen sowohl als mit Atomgruppen Verbindungen einzugehen; das Letztere giebt Anlass zur Entstehung neuer komplizierterer Verbindungen.

Der Äthylalkohol $CH_3—CH_2OH$ besteht aus zwei Methylgruppen, in deren einer 1 H durch die Hydroxylgruppe ersetzt ist.

Wird auch in der anderen Methylgruppe ein H durch OH ersetzt, so erhalten wir einen Alkohol von der Form

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

Ebenso können wir aus dem Propan $CH_3—CH_2—CH_3$ einen Alkohol mit 3 Hydroxylgruppen ableiten

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

Diese letztere Verbindung ist unter dem Namen Glyzerin bekannt. Alkohole mit mehr als einer Hydroxylgruppe nennt man mehrwertige. Glyzerin ist ein dreiwertiger Alkohol.

8. Wenn man versucht, in das Methan mehr als eine Hydroxylgruppe einzuführen, so würde man zunächst zu einem Körper von der Konstitution $H_2=C<^{OH}_{OH}$ gelangen. Solche zwei benachbarten Hydroxylgruppen haben aber keinen Bestand; es verbindet sich vielmehr eine derselben mit dem H der andern, Wasser tritt aus, und es bleibt ein Körper von der Konstitution $H_2=C=O$ oder $H—C<^{H}_{=O}$ zurück. Man nennt ihn Formaldehyd. Von dem Methylalkohol $H_3≡C—OH$ unterscheidet er sich durch ein Minus von 2 Atomen H und durch das doppelt an C gebundene O-atom. In derselben

8. Aldehyde, Ketone.

Weise leiten sich aus dem Äthan und den übrigen Kohlenwasserstoffen die entsprechenden Aldehyde ab; so

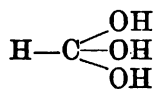
aus $CH_3 \cdot CH_3$ $CH_3 \cdot C\leqslant^{H}_{O}$, Äthylaldehyd

aus $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_3$ $CH_3 \cdot CH_2 \cdot C\leqslant^{H}_{O}$, Propylaldehyd u. s. f.

Wie aus diesen Formeln hervorgeht, sind alle Aldehyde charakterisiert durch die einwertige Gruppe $-C\leqslant^{H}_{O}$ oder $(CHO)'$, die Aldehydgruppe; sie ist es, welche den Aldehyden ihre große Reaktionsfähigkeit verleiht. Auf einige für uns wichtige Aldehyde, die zu den Zuckerarten gehören, werden wir später noch einzugehen haben.

Eine gewisse Verwandtschaft mit den Aldehyden, sowohl nach ihrer Entstehung wie nach ihren Reaktionen, zeigen die sogenannten Ketone. Es sind dies Körper, welche die Gruppe $-CO-$ als Bindeglied zwischen zwei einwertigen organischen Gruppen enthalten. Das einfachste Keton besteht aus der Ketongruppe $-CO-$ und zwei Methylgruppen, ist also $CH_3-CO-CH_3$. Dieses Dimethylketon oder Aceton, wie es gewöhnlich genannt wird, findet sich bei gewissen krankhaften Zuständen im menschlichen Körper. Das nächst höhere Keton wäre $CH_3 \cdot CH_2-CO-CH_3$ = Methyläthylketon. Andere ketonartige Verbindungen werden wir bei Besprechung der Kohlenhydrate kennen lernen.

9. Säuren. 9. Führt man beim Methan drei Hydroxylgruppen ein, so gelangt man zu einem Körper von der Konstitution



Indem auch hier wieder Wasser austritt, bleibt der Körper $H-C\leqslant^{OH}_{O}$ zurück. Er hat alle Eigenschaften einer Säure; diese wird Ameisensäure genannt, weil sie in Ameisen gefunden wurde. Ebenso kommen wir vom Äthan zur Essigsäure CH_3-COOH, vom Propan zur Propionsäure CH_3-CH_2-COOH, vom Butan zur Buttersäure $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$.

Jedem der drei ersten Kohlenwasserstoffe entspricht je eine Säure, vom Butan leiten sich zwei isomere Buttersäuren, von den höheren Kohlenwasserstoffen noch mehr isomere Säuren ab.

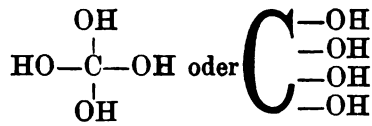
Alle Körper von dieser Konstitution zeigen dieselben Eigenschaften, welche wir früher an den Säuren kennen gelernt haben, d. h. sie reagieren sauer und das H-atom der Hydroxylgruppe ist leicht durch Metall ersetzbar, wobei Salze gebildet werden.

Die wichtigeren Säuren dieser Reihe sind die folgenden:

Ameisensäure		H	COOH
Essigsäure	C	H_3	COOH
Propionsäure	C_2	H_5	COOH
Buttersäure	C_3	H_7	COOH
Capronsäure	C_5	H_{11}	COOH
Caprylsäure	C_7	H_{15}	COOH
Caprinsäure	C_9	H_{19}	COOH
Myristinsäure	C_{13}	H_{27}	COOH
Palmitinsäure	C_{15}	H_{31}	COOH
Margarinsäure	C_{16}	H_{33}	COOH
Stearinsäure	C_{17}	H_{35}	COOH

Alle diese Säuren enthalten die Atomgruppe COOH, welche man Carboxylgruppe nennt. Sie kommen selten und dann immer nur in geringen Mengen in freiem Zustand, zuweilen an Alkalien gebunden in den lebenden Wesen vor; dagegen in größeren Mengen in Verbindung mit Glyzerin (siehe oben § 7) als sogenannte neutrale Fette, von deren Konstitution wir später noch zu sprechen haben werden. Man nennt sie deshalb Fettsäuren. Die höheren d. h. C-reicheren Glieder dieser Säurereihe von der Caprinsäure an sind feste, krystallisierende, in Wasser unlösliche Körper. Mit den Alkalien bilden sie wasserlösliche Salze, die als Seifen bezeichnet werden.

Stellen wir uns vor, wir könnten in dem Methan CH_4 alle 4 H-atome durch Hydroxylgruppen ersetzen. Wir hätten dann einen Körper von der Konstitution



Indem die benachbarten Hydroxylgruppen aufeinander wirken, treten 2 Molekeln Wasser aus; dann bleibt ein Körper von der Zusammensetzung O=C=O zurück, welchen wir als Kohlendioxyd (CO_2) schon kennen; er wird auch wohl Kohlensäureanhydrid oder fälschlich Kohlensäure genannt. Wenn jener hypothetische Körper nur eine Wassermolekel verliert, so nimmt er die Form $O=C<^{OH}_{OH}$ oder $CO(OH)_2$ an; zwei Hydroxylgruppen sind mit der Gruppe C=O verbunden. Dies ist die wahre Kohlensäure; da sie zwei Hydroxylgruppen enthält, so kann sie 2 Atome eines einwertigen oder statt dessen 1 Atom eines zweiwertigen Metalls binden. Sie kann

daher mit dem einwertigen Natrium oder dem zweiwertigen Calcium folgende kohlensaure Salze oder Karbonate bilden:

$CO\begin{matrix}OH\\ONa\end{matrix}$ oder $NaHCO_3$ saures Natriumkarbonat,

$CO\begin{matrix}ONa\\ONa\end{matrix}$ oder Na_2CO_3 neutrales Natriumkarbonat,

$CO\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\Big\rangle Ca$ oder $CaCO_3$ Calciumkarbonat.

Alle drei kommen in den Lebewesen vor; außerdem noch Kaliumkarbonat (sowohl saures wie neutrales) und Magnesiumkarbonat.

Man nennt die Kohlensäure, weil sie zwei gleichartig gebundene Hydroxylgruppen enthält, deren H-atome durch Metalle ersetzt werden können, eine zweibasische Säure. In ähnlicher Weise können zwei oder mehr gleichartig gebundene Hydroxylgruppen in einer Molekel auch bei anderen Säuren enthalten sein, sowohl bei unorganischen als bei organischen. Von ersteren ist zu erwähnen die zweibasische Schwefelsäure $SO_2\begin{matrix}OH\\OH\end{matrix}$ und die dreibasische Phosphorsäure $PO\begin{matrix}OH\\OH\\OH\end{matrix}$ deren Salze mit den Basen des Kaliums, Natriums, Calciums und Ammoniums (siehe § 16) in den Lebewesen häufig vorkommen. Freie Schwefelsäure ist (neben Chlorwasserstoffsäure) im Speichel der Schnecke *Dolium galea* aufgefunden worden.

Die einbasischen Fettsäuren haben wir aus den Kohlenwasserstoffen abgeleitet, indem wir eine Methylgruppe in eine Carboxylgruppe umwandelten. So wurde aus dem Äthan $CH_3 — CH_3$ Essigsäure $CH_3 — COOH$. Nehmen wir die gleiche Umwandlung auch mit der zweiten Methylgruppe vor, so erhalten wir aus $CH_3 — COOH$ die zweibasische Säure $COOH — COOH$. Es ist dies die im Pflanzenreich sehr verbreitete, aus den Sauerklee-(Oxalis-)Arten zuerst dargestellte Oxalsäure. Auch im Harn des Menschen ist sie enthalten, und zwar als Kalksalz. Sie ist, da sie zwei Carboxylgruppen und nur diese enthält, der einfachste Typus einer organischen zweibasischen Säure. Ihr saures Kaliumsalz, der Hauptbestandteil des sogenannten Kleesalzes, hat die Formel $\begin{matrix}COOK\\|\\COOH\end{matrix}$, das neutrale Kalksalz die Formel

$$\begin{matrix}COO\\|\\COO\end{matrix}\Big\rangle Ca.$$

In gleicher Weise wie vom Äthan zur Oxalsäure, können wir von anderen Kohlenwasserstoffen zu anderen zweibasischen Säuren gelangen, z. B. vom Butan $CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$ zur Bernsteinsäure

$COOH - CH_2 - CH_2 - COOH$, die im Bernstein und auch in tierischen Geweben und Säften vorkommt.

Auch drei- und mehrbasische organische Säuren, d. h. Säuren mit 3 und mehr Carboxylgruppen sind bekannt. Zu den dreibasischen gehört die Citronensäure.

Eine neue, theoretisch wie praktisch gleich wichtige Reihe von Säuren erhalten wir aus den ein- und mehrbasischen Fettsäuren, wenn wir eins oder mehrere der an Kohlenstoff gebundenen Wasserstoffatome durch Hydroxylgruppen ersetzen. Bei der Ameisensäure führt diese Substitution zur Kohlensäure: aus $CO<\begin{matrix}H\\OH\end{matrix}$ wird $CO<\begin{matrix}OH\\OH\end{matrix}$. Die Kohlensäure ist hiernach eine hydroxylierte Ameisensäure. Die übrigen Fettsäuren liefern dementsprechend die Reihe der Hydroxyfettsäuren oder, kürzer, Oxyfettsäuren.

Aus $CH_3 - COOH$ wird $CH_2(OH) - COOH$, Oxyessigsäure. Aus $CH_3 - CH_2 - COOH$ wird entweder $CH_3 - CH(OH) - COOH$, α-Oxypropionsäure, oder $CH_2(OH) - CH_2 - COOH$, β-Oxypropionsäure.

Wie aus diesen Formelbildern zu ersehen, leiten sich von der Propionsäure zwei isomere Oxysäuren ab, die sich durch die Stellung der Hydroxylgruppe in der Kohlenstoffkette unterscheiden; es sind dies die beiden Milchsäuren, die α-Säure ist die bei der Säuerung der Milch, bei der Milchsäuregärung mancher Zucker entstehende, fast regelmäßig auch im Magen des Menschen vorkommende Gärungsmilchsäure, die β-Säure die sogenannte Äthylenmilchsäure.

Es liegt auf der Hand, dass, je größer die C-Kette einer Fettsäure ist, um so größer auch die Zahl der ihr zugehörigen Oxysäuren sein muss.

10. Isomerie der Weinsäuren und Milchsäuren.

10. Treten zwei oder mehr OH-gruppen an Stelle von H in eine organische Säure ein, so entstehen Di-, Tri- u. s. f.-oxysäuren. Von diesen greifen wir als Beispiel die Weinsäure heraus. Wenn wir in der oben erwähnten Bernsteinsäure

$$\begin{matrix}CH_2 - COOH\\|\\CH_2 - COOH\end{matrix}$$

symmetrisch zwei H durch OH ersetzen, erhalten wir die symmetrische Dioxybernsteinsäure

$$\begin{matrix}CH(OH) - COOH\\|\\CH(OH) - COOH.\end{matrix}$$

Auf diese Verbindung, welche Weinsäure genannt wird, müssen wir hier näher eingehen, nicht allein, weil sie als ein im Pflanzenreich sehr verbreiteter Stoff bemerkenswert ist, sondern viel mehr noch, weil sie in der jüngsten Entwicklung unserer Anschauungen von der

Struktur vieler physiologisch wichtiger Körper eine hervorragende Rolle gespielt hat.

Aus dem Weinstein (*Cremor tartari*), dem sauren Kaliumsalz der Weinsäure, das sich als ein krustiges oder grobsandiges Sediment beim Aufbewahren des Weines allmählich in den Fässern absetzt, hat zuerst der schwedische Chemiker SCHEELE die Säure selbst dargestellt (1769). 60 Jahre später gelang es BERZELIUS nachzuweisen, dass eine gleichfalls im Weinstein vorkommende Säure, die bei der Weinsäurefabrikation als Nebenprodukt erhalten wurde, die Traubensäure, dieselbe Zusammensetzung hat wie die Weinsäure; ein Befund, der ihn zur Aufstellung des Begriffes des Isomerie führte. In ihren Reaktionen ließen beide Säuren nur sehr geringe Unterschiede erkennen, dagegen zeigten sie ein verschiedenes optisches Verhalten: Weinsäure drehte die Ebene des polarisierten Lichtes nach rechts, Traubensäure war inaktiv. Eine völlige Klarstellung dieses Verhaltens und der Beziehungen beider Säuren zueinander hat PASTEUR in einer berühmt gewordenen Untersuchung gegeben. Als er eine Lösung von traubensaurem Natrium-Ammonium zur Krystallisation brachte, fand er, dass die einzelnen Krystallindividuen in einer bestimmten Richtung voneinander abwichen; bei im übrigen völlig gleicher Ausbildung zeigten die einen gewisse Flächen, sogenannte hemiëdrische Flächen, rechterseits, die anderen linkerseits. (Fig. 27.) Die beiden Formen waren nicht kongruent, sie konnten nicht zur Deckung gebracht werden, sondern die Individuen mit den rechts gestellten hemiëdrischen Flächen verhielten sich zu den mit den links gestellten hemiëdrischen Flächen wie ein Objekt zu seinem Spiegelbild oder wie ein rechter Handschuh zu einem linken. Nachdem PASTEUR die Rechts- und die Linkskrystalle, wie wir sie kurz nennen wollen, mechanisch voneinander getrennt hatte, isolierte er aus beiden die zugehörigen Säuren. Die Rechtskrystalle lieferten ihm die bekannte gewöhnliche Weinsäure, die Linkskrystalle aber eine neue Säure, die in ihrer Zusammensetzung und ihrem Verhalten mit jener vollkommen übereinstimmte, aber die Ebene des polarisierten Lichtes um ebensoviel nach links drehte als jene nach rechts. PASTEUR unterschied beide Säuren als Rechts- und Linksweinsäure. In ihren Krystallformen tritt der gleiche Gegensatz zu Tage wie bei ihren Natrium-Ammoniumsalzen, die eine Form

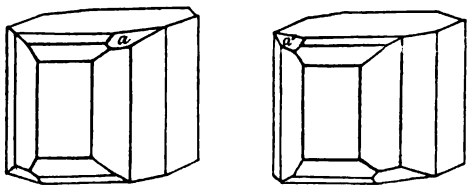


Fig. 27.
Krystalle aus einer Lösung von traubensaurem Natrium-Ammonium.
Die Krystallflächen a und a' sind asymmetrisch; sie verhalten sich zu einander wie ein Objekt zu seinem Spiegelbild. Der eine Krystall ist rechtsdrehend, der andere linksdrehend.

ist das Spiegelbild der anderen. Damit war bewiesen, dass die optisch inaktive Traubensäure aus zwei optisch aktiven Komponenten, einem rechts- und einem linksdrehenden, besteht. Der Beweis konnte noch weiter dadurch gesichert werden, dass es gelang, aus einer Lösung gleicher Mengen von Rechts- und von Linksweinsäure Krystalle von inaktiver Traubensäure zu erhalten.

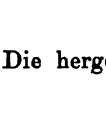
Zu diesen drei Modifikationen der Dioxybernsteinsäure trat aber noch eine vierte. Durch passendes Erhitzen ließ sich Rechtsweinsäure in eine optisch inaktive Modifikation, in Mesoweinsäure umwandeln, die sich von der Traubensäure dadurch unterschied, dass sie nicht wie diese in zwei optische Antipoden gespalten werden konnte.

Es giebt also vier Isomere von der Zusammensetzung $C_4H_6O_6$; aber diese vier Säuren sind nicht allein isomer, sondern sie haben auch die gleiche Konstitution, die Bindungsweise der C-, H- und O-atome ist bei allen dieselbe; sie sind sämtlich Dioxybernsteinsäuren. Zur Deutung dieser speziellen Art von Isomerie genügen die Konstitutionsformeln nicht; sie versagen, wie gegenüber den Weinsäuren, so in allen analogen Fällen. Wir haben (S. 209) die beiden Milchsäuren erwähnt: ihre Verschiedenheit beruhte, wie wir sahen, auf der Verschiedenheit der Stellung der OH-Gruppe. Wir kennen indes noch eine dritte Milchsäure, die im Fleischsaft vorkommende Fleischmilchsäure oder Paramilchsäure; diese müssen wir ebenso wie die Gärungsmilchsäure als eine α-Oxypropionsäure auffassen. Im Gegensatz zur Gärungsmilchsäure, die optisch inaktiv ist, dreht die Fleischmilchsäure die Polarisationsebene nach rechts, auch ihre Salze stimmen nicht mit denen der ersteren überein; kurz, wir haben hier ein neues Beispiel dafür, dass isomere Körper auch bei gleicher Konstiution nicht identisch zu sein brauchen. Derartige Isomeriefälle kommen bei vielen im Tier- und Pflanzenleibe auftretenden Verbindungen sehr häufig vor. Es fragt sich, wie alle diese Fälle zu deuten sind.

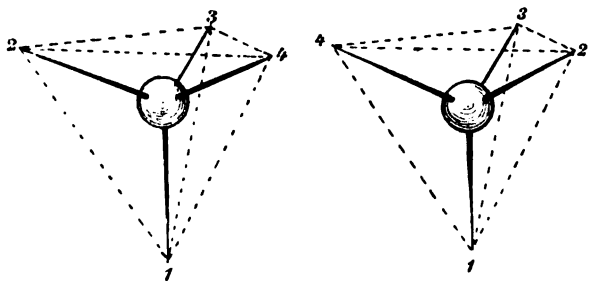
11. Asymmetrie des Kohlenstoffes.

11. Solche isomere Verbindungen sind also, wie gesagt, gleich konstituiert, aber sie sind physikalisch verschieden. Sie können in ihrer Zusammensetzung und ihrem chemischen Charakter die größten Verschiedenheiten zeigen; sie enthalten aber stets Kohlenstoff. Es muss daher wohl in den Eigenschaften gerade dieses Elementes jene eigenartige Isomerie ihren Grund haben. Dies Problem haben fast gleichzeitig und unabhängig voneinander Le Bel und van't Hoff zu lösen versucht durch die Hypothese von der Asymmetrie des Kohlenstoffes (1874). Die Anschauungen, die sie zuerst auf Grund eines bescheidenen Thatsachenmaterials entwickelten, sind inzwischen weiter ausgebaut und durch viele neue Befunde gestützt worden, so dass heute die Le Bel-van't Hoff'sche Lehre zu den bestbegründeten Theorieen der allgemeinen Chemie gehört.

Wie die Erfahrungen an den Kohlenwasserstoffen und ihren Substitutionsprodukten lehren, besteht zwischen den vier Valenzen des Kohlenstoffatoms kein Unterschied. (Vergl. die Anm. auf S. 204.) Daraus ist zu folgern, dass sie im Raum gleichmäßig verteilt sein müssen. Die hergebrachte Darstellung der Methanmolekel



welche sich an die Ebene bindet, nimmt darauf keine Rücksicht. Sie versagt deshalb, wenn es sich um die Darstellung des uns hier beschäftigenden Problems handelt. Es giebt für vier von einem Punkt ausgehende Kraftwirkungen, gleichviel welcher Art, nur eine Form gleichmäßiger räumlicher Anordnung, welche die Bedingungen erfüllt, zu einer befriedigenden Darstellung der Thatsachen zu führen. Das ist die Lage der Ecken eines regulären Tetraëders. Das Kohlenstoffatom können wir uns als kugeliges Gebilde vorstellen, dessen Mittelpunkt mit dem Schwerpunkt des regulären Tetraëders 1, 2, 3, 4 zusammenfällt. (Fig. 28.) Dann sind die Wirkungsrichtungen der vier Valenzen dargestellt durch die vom Kohlenstoffatom nach den Ecken gezogenen Linien.



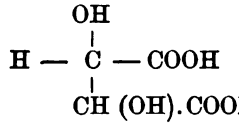
I. Fig. 28. II.

Asymmetrie des Kohlenstoffes.

Das Kohlenstoffatom ist durch eine Kugel dargestellt, deren Schwerpunkt mit dem Schwerpunkt eines regulären Tetraëders zusammenfällt. Sind alle 4 Ecken mit gleichen Atomen oder Atomgruppen verbunden, so ist es gleichgiltig, ob die Verbindung so gedacht wird wie in I oder so wie in II. Sind aber etwa in 2, 3 und 4 verschiedene Atome oder Atomgruppen angelagert, so macht es einen Unterschied, ob man, wie in I, von 1 über 2 und 3 nach 4 geht, oder wie in II. Im ersteren Falle ist die Bewegung im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers, im letzteren Falle entgegengesetzt gerichtet.

Sind in 1, 2, 3 und 4 Wasserstoffatome angelagert, so ist das Tetraëder das Bild der Methanmolekel. Sind ein oder zwei Wasserstoffatome durch andere einwertige Atome oder Atomgruppen substituiert, so bleibt das körperliche Bild immer noch eindeutig, d. h. die Substitution führt immer nur zu einer neuen Molekel. Stehen aber in allen vier Tetraëderecken verschiedene Atome oder Atomgruppen, so kann deren Anordnung zwei verschiedene Raumbilder ergeben, die nicht mehr identisch sind, die also zwei verschiedenen Molekeln entsprechen. In

den Fig. 28 I und II sind 1, 2, 3 und 4 so verteilt, dass die Tetraëder nicht zur Deckung gebracht werden können; Fig. I ist das Spiegelbild von II und umgekehrt. Der Unterschied lässt sich auch folgendermaßen kennzeichnen: Bewegen wir uns von 1 über 2 nach 3, so folgen wir bei Fig. I der Bewegungsrichtung des Uhrzeigers, bei Fig. II der entgegengesetzten Richtung; bei I ist der Weg ein rechts-, bei II ein linksgewundener. Denken wir uns nun, bei der Dioxybernsteinsäure



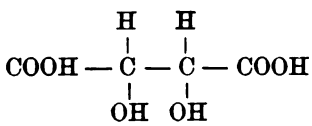
seien in dem einen Fall H, OH, COOH und CH(OH)COOH räumlich nach Fig. I, in dem anderen nach Fig. II angeordnet, so haben wir die Raumbilder der Molekeln der Rechts- und Linksweinsäure.

Bei allen organischen Verbindungen mit mindestens einem Kohlenstoffatom, an dem vier verschiedene Atome oder Atomgruppen haften, sind Isomerieen dieser Art möglich. Man bezeichnet ein solches Kohlenstoffatom als asymmetrisch[1]) und Verbindungen, deren Isomerie nur auf der verschiedenen räumlichen Anordnung der Atome und Atomgruppen beruht, als stereoisomer. Enthält eine Molekel mehr als ein asymmetrisches Kohlenstoffatom, so können natürlich verschiedene stereoisomere Formen in größerer Anzahl auftreten.

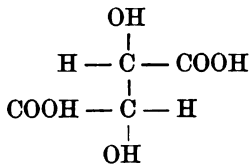
Mit der Asymmetrie des Kohlenstoffes hängt zweifellos das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen zusammen. Man kennt zwar Verbindungen mit asymmetrischem Kohlenstoff, die optisch inaktiv sind, aber man kennt keine optisch aktive organische Substanz, der ein asymmetrisches Kohlenstoffatom fehlte. Von den wichtigsten Bestandteilen des Tier- und Pflanzenleibes, den Proteinstoffen und Kohlenhydraten, drehen die meisten die Ebene des polarisierten Lichts, woraus wir für diejenigen, deren Konstitution wir noch nicht kennen (Eiweißkörper), schließen, dass sie asymmetrischen Kohlenstoff enthalten. Wie bereits erwähnt wurde, sind von den Weinsäuren zwei optisch inaktiv, die Traubensäure und die Mesoweinsäure. Für die erstere folgt das Fehlen des Drehungsvermögens daraus, dass sie aus gleichen Teilen Rechts- und Linksweinsäure besteht, deren drehende Wirkungen sich gegenseitig aufhebt. Die Inaktivität der nicht zerlegbaren Mesoweinsäure aber lässt sich aus der räumlichen Struktur ihrer Molekel ableiten. Bei der Molekel der Weinsäure

---

[1]) Genau genommen ist nicht das Kohlenstoffatom asymmetrisch, sondern die Gruppierung um dasselbe herum erzeugt erst die Asymmetrie. Der Kürze wegen ist aber die im Text gebrauchte Bezeichnung üblich geworden.

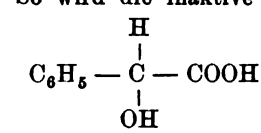


haben wir es nicht mit einem, sondern mit zwei asymmetrischen C-atomen zu thun, deren Valenzen im übrigen gleichartig befriedigt sind. Sind bei beiden C-atomen die räumlichen Anordnungen derart, dass sie optisch in gleichem Sinn wirken, so liegt Rechts- oder Linksweinsäure vor, wirken sie ungleichsinnig, wie es das Schema



andeutet, so heben sich die Wirkungen auf polarisiertes Licht gegenseitig auf; darum ist die Mesoweinsäure inaktiv.

Wir können also sagen: Die Inaktivität beruht entweder darauf, dass die betreffende Substanz eine Mischung gleicher Mengen rechts- und linksdrehender Molekeln, „optischer Antipoden", ist, oder darauf, dass innerhalb der Molekel selbst die asymmetrischen Anordnungen in ihrer drehenden Wirkung einander aufheben. Soll entschieden werden, ob in einem bestimmten Fall das eine oder andere zutrifft, so versucht man die optisch inaktive Substanz in aktive Komponenten zu zerlegen. PASTEUR hat bei der Traubensäure die Spaltung durch Krystallisation des Natrium-Ammoniumsalzes bewerkstelligt (Siehe S. 210); bei anderen inaktiven Säuren mit asymmetrischem Kohlenstoff erwies sich die Darstellung ihrer Verbindungen mit Strychnin und ähnlichen Körpern als ein gutes Hilfsmittel. Was aber ein besonderes physiologisches Interesse verdient, das ist die Spaltung mit Hilfe gewisser Pilze. Werden gewisse Spaltpilze (Schizomyceten) oder Schlauchpilze (Ascomyceten) in Lösungen spaltbarer Substanzen gezüchtet, so zerstören sie zunächst immer nur den einen optisch aktiven Komponenten, sie verzehren ihn gewissermaßen, die ursprünglich inaktive Lösung wird aktiv, und aus ihr lässt sich der nicht zerstörte Komponent gewinnen. So wird die inaktive Mandelsäure



durch den Schlauchpilz *Penicillium glaucum* gespalten, die Linksmandelsäure wird zerstört, die Rechtsmandelsäure bleibt unverändert. Umgekehrt vernichten gewisse Schizomyceten, die in Lösungen von inaktiver Mandelsäure wuchern, die Rechtsmandelsäure und lassen die Linksmandelsäure unberührt. Diese Befunde beweisen auf das unzweideutigste,

dass die inaktive (künstliche) Mandelsäure[1]) aus zwei optisch aktiven stereoisomeren Komponenten besteht.

Kehren wir noch einmal zu der bereits besprochenen, aber noch nicht völlig klargestellten Isomerie der α-Oxypropionsäuren zurück. Zwei Säuren von der Konstitution $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH$ waren seit längerer Zeit bekannt, die inaktive Gärungsmilchsäure und die rechtsdrehende Fleischmilchsäure. Die Theorie forderte noch eine dritte stereoisomere Säure, die links drehen musste. Und in der That ist diese Linksmilchsäure gefunden worden. Stellt man das Strychninsalz der inaktiven Säure dar, so gelingt es, sie in zwei optische Antipoden zu zerlegen, von denen der eine die bekannte Fleischmilchsäure, der andere das gesuchte linksdrehende Isomere ist. Auch die Spaltung durch Pilze konnte hier mit Erfolg durchgeführt werden. *Penicillium glaucum*, auf gewöhnlichem milchsauren Ammonium gezüchtet, erzeugte daraus rechts-(fleisch-)milchsaures Salz. Andererseits gelang es, Zuckerlösungen durch gewisse Spaltpilze[2]) so zu vergären, dass dabei direkt Linksmilchsäure entstand. Brachte man dann diese mit den gleichen Mengen Fleischmilchsäure zusammen, so ging aus der Vereinigung beider die inaktive Säure hervor.

12. Wird ein Metallalkoholat mit einem Jodid behandelt, so bildet sich Metalljodid und die beiden Radikale verbinden sich untereinander, z. B. 12. Alkyläther, Säureanhydride und Ester.

$$\underset{\text{Natriummethylalkoholat}}{CH_3ONa} + \underset{\text{Methyljodid}}{CH_3J} = CH_3-O-CH_3 + \underset{\text{Natriumjodid}}{NaJ}$$

$$\underset{\text{Natriumäthylalkoholat}}{\begin{matrix}CH_3\\|\\CH_2ONa\end{matrix}} + \underset{\text{Methyljodid}}{CH_3J} = \begin{matrix}CH_3\\|\\CH_2-O-CH_3\end{matrix} + \underset{\text{Natriumjodid}}{NaJ}$$

$$\underset{\text{Natriumäthylalkoholat}}{\begin{matrix}CH_3\\|\\CH_2ONa\end{matrix}} + \underset{\text{Äthyljodid}}{\begin{matrix}CH_3\\|\\CH_2J\end{matrix}} = \begin{matrix}CH_3 & & CH_3\\|\\CH_2-O-CH_2\end{matrix} + \underset{\text{Natriumjodid}}{NaJ}$$

Wie die Beispiele zeigen, entstehen auf diese Weise neue Verbindungen, in denen zwei gleiche oder ungleiche Alkoholradikale durch ein zwischengelagertes O-atom vereinigt sind. Man kann die

---

[1]) Die natürliche Mandelsäure ist links drehend.

[2]) Geeignet sind gewisse Vibrionenarten, die dem Choleavibrio nahe stehen; auch ein Bacillus (*Bacillus acidi laevolactici*), der ein spezifischer Erreger der Linksmilchsäuregärung zu sein scheint.

Entstehung derselben Verbindungen auch dadurch herbeiführen, dass man die Alkohole in Berührung mit Stoffen bringt, welche sehr wassergierig sind. Die Bildung erfolgt dann, wie die folgenden Gleichungen zeigen, unter Wasseraustritt.

$$CH_3OH + CH_3OH = CH_3 - O - CH_3 + HOH$$

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} + CH_3OH = \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2 - O - CH_3 \end{matrix} + HOH$$

$$\begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} + \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix} = \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_2 - O - \end{matrix} \begin{matrix} CH_2 \\ | \\ CH_3 \end{matrix} + HOH$$

Im ersten Beispiel vereinigen sich die Radikale zweier Molekeln Methylalkohol unter Wasseraustritt zu der neuen Verbindung $CH_3 - O - CH_3$. Im zweiten Falle geschieht dasselbe zwischen den Radikalen einer Molekel Methyl- und einer Molekel Äthylalkohol, im dritten Falle zwischen zwei Molekeln Äthylalkohol. Man nennt den Vorgang, welcher zu diesen Bildungen führt, Anhydrisierung und bezeichnet deshalb die so entstandenen Verbindungen als Alkoholanhydride, Alkoholäther oder Alkyläther. Äther mit zwei gleichen Alkoholradikalen heißen einfache, diejenigen mit zwei ungleichen Radikalen gemischte Äther. Die bekannteste Verbindung dieser Art ist der als Lösungsmittel und zur Narkotisierung viel benutzte Äthyläther $C_2H_5 - O - C_2H_5$, gewöhnlich schlechtweg Äther genannt.

Derselbe Vorgang der Anhydrisierung kann auch zwischen zwei Säuremolekeln Platz greifen; dann entstehen Säureanhydride.[1]) Die Gleichung

$$CH_3COOH + CH_3COOH = CH_3CO - O - COCH_3 + HOH$$

veranschaulicht die Bildung einer Molekel Essigsäureanhydrid aus zwei Molekeln Essigsäure unter Wasseraustritt.

Findet der Vorgang der Anhydrisierung zwischen einem Alkohol- und einem Säure-Radikal statt, dann entstehen Körper, welche man Säureäther oder Ester nennt, z. B.

$$\underset{\text{Essigsäure}}{CH_3COOH} + \underset{\text{Methylalkohol}}{CH_3OH} = \underset{\text{Essigsäure-Methylester}}{CH_3CO - O - CH_3} + HOH$$

$$\underset{\text{Essigsäure}}{CH_3COOH} + \underset{\text{Äthylalkohol}}{CH_3CH_2OH} = \underset{\substack{\text{Essigsäure-Äthylester} \\ \text{(Essigäther)}}}{CH_3CO - O - CH_2CH_3} + HOH$$

Solche Verbindungen kommen vor zwischen Alkoholen und

[1]) In Wirklichkeit stellt man die Säureanhydride nicht direkt aus den Säuren dar.

anorganischen sowohl wie organischen Säuren. Hervorzuheben wegen ihrer weiten Verbreitung in Pflanzen und Tieren sind die früher schon erwähnten Verbindungen des dreiwertigen Alkohols Glyzerin mit den höheren Fettsäuren, die pflanzlichen und tierischen Fette. Sie sind echte Ester, Verbindungen der Radikale dieser Säuren mit dem Radikal jenes Alkohols durch zwischengelagerte O-atome. Da ihnen physiologisch eine hervorragende Bedeutung zukommt, so werden wir sie im folgenden Kapitel eingehend besprechen.

Viele Anhydride können künstlich aus ihren Komponenten durch Entziehung der Elemente des Wassers aufgebaut, alle können unter Wasseraufnahme in einfachere Körper gespalten werden. Ersteres stellt eine Synthese, letzteres eine Analyse dar. Beide Methoden haben viel zur genaueren Erkenntnis der Konstitution zahlreicher organischer Verbindungen beigetragen.

Bezeichnen wir mit R_1 und R_2 zwei beliebige einfachere oder kompliziertere einwertige Alkylgruppen, so lassen sich, sei es unmittelbar, sei es auf Umwegen, immer folgende Reaktionen ausführen:

a) synthetische

$$\text{Alkohole} \begin{cases} R_1OH + R_1OH = R_1 - O - R_1 + HOH \\ R_1OH + R_2OH = R_1 - O - R_2 + HOH \end{cases} \begin{matrix} \text{Alkoholanhydride} \\ = \text{Alkyläther, Äther} \end{matrix}$$

$$\text{Säuren} \begin{cases} R_1COOH + R_1COOH = R_1CO - O - COR_1 + HOH \\ R_1COOH + R_2COOH = R_1CO - O - COR_2 + HOH \end{cases} \begin{matrix} \text{Säure-} \\ \text{anhydride} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{Säure} \\ + \text{ Alkohol} \end{matrix} \begin{cases} R_1COOH + R_1OH = R_1CO - O - R_1 + HOH \\ R_1COOH + R_2OH = R_1CO - O - R_2 + HOH \end{cases} \begin{matrix} \text{Säureäther,} \\ \text{Ester} \end{matrix}$$

b) analytische oder spaltende

$$R_1 - O - R_1 + HOH = R_1OH + R_1OH$$
$$R_1 - O - R_2 + HOH = R_1OH + R_2OH \text{ u. s. w.}$$

Solche Spaltungen treten bei manchen Körpern schon allein bei Berührung mit Wasser ein, in anderen Fällen muss höhere Temperatur, Einwirkung von Wasserdampf oder die Mitwirkung von Säuren oder anderen Agentien zu Hilfe genommen werden. Dieselben Vorgänge können auch bei den komplizierten Molekeln der Kohlenhydrate und Proteine Platz greifen; sie spielen bei vielen Lebensprozessen eine wichtige Rolle. Sehr häufig entstehen durch die unter Aufnahme der Elemente des Wassers vor sich gehenden Spaltungen aus kolloiden oder unlöslichen Stoffen lösliche, krystalloide Produkte. Man hat diese Vorgänge ganz allgemein als hydrolytische Spaltungen oder Hydrolysen bezeichnet. Von ihnen wird in der Folge noch mehrfach die Rede sein. Hier wollen wir nur noch bemerken, dass im besonderen die Hydrolyse der Kohlenhydrate und Proteine nicht allein durch die angeführten Agentien, sondern auch durch gewisse im pflanzlichen und

tierischen Organismus auftretende Stoffe, die sogenannten Enzyme, herbeigeführt werden kann.

13. Ungesättigte Verbindungen.

13. Bei allen bisher betrachteten organischen Verbindungen waren die C-atome stets nur einfach, d. h. mit einer einfachen Bindung, aneinander gekettet, wie es das Schema

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - \cdots\cdots CH_2 - CH_2 - CH_3$$

andeutet. Man bezeichnet solche Verbindungen als gesättigte. An ihrer Kohlenstoffkette wird nichts geändert, wenn an Stelle einer oder mehrerer H-atome andere Atome oder Atomgruppen in ihre Molekeln eintreten. Sind die substituierenden Gruppen wiederum Kohlenstoffketten mit einfachen Bindungen, so erhalten wir Molekeln mit Seitenketten, so z. B. wenn wir in die Butanmolekel an Stelle eines der beiden H-atome einer Methylengruppe eine Äthylgruppe einführen:

$$CH_2 - \underset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{\displaystyle |}{CH}} - CH_2 - CH_3$$

In allen diesen Fällen liegen noch gesättigte Verbindungen vor. Es giebt aber auch Körper, bei denen Kohlenstoffatome durch doppelte oder gar dreifache Bindungen miteinander zusammenhängen. Die einfachsten Molekeln dieser Art sind

$$H_2C{=}CH_2 \text{ und } HC{\equiv}CH.$$

Äthylen Acetylen

Von beiden leiten sich in derselben Weise, wie wir es beim Methan geschildert haben, Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Säuren u. s. w. ab. Alle diese Verbindungen, die mindestens eine doppelte oder dreifache Bindung enthalten, aber auch deren mehrere enthalten können, bezeichnet man als ungesättigte.[1]) Wir erwähnen von ihnen das Cholesterin $C_{27}\ H_{45}\ OH$, einen ungesättigten Alkohol, der in tierischen Flüssigkeiten (Galle; Gallensteine bestehen oft ganz aus Cholesterin) und besonders in der Nervensubstanz, ferner im Panzenreich vorkommt, und die Ölsäure oder Elainsäure, eine der Stearinsäure sehr nahestehende Fettsäure $C_{18}\ H_{34}\ O_2$, die sich in tierischen Fetten und sehr reichlich in den fetten Ölen (Olivenöl, Mandelöl) findet. Die Ölsäure geht unter Aufnahme von zwei Atomen H in Stearinsäure über; die Kohlenstoffkette muss also bei beiden gleich konstituiert sein, nur dass sie bei der Ölsäure an einer bestimmten Stelle eine Doppelbindung aufweist:

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 \cdots\cdots CH = CH - CH_2 - COOH.$$

Alle Kohlenstoffverbindungen, die sich in letzter Instanz auf das Methan zurückführen lassen, pflegt man unter dem Namen

[1]) Nicht zu verwechseln mit Atomgruppen oder Radikalen, bei denen eine oder mehrere Valenzen noch frei, d. h. unverbunden sind!

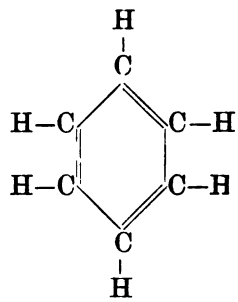
Methanderivate zusammenzufassen. Gleichbedeutend mit dieser Bezeichnung ist die noch gebräuchlichere: Verbindungen der Fettreihe oder der aliphatischen Reihe; zu ihr gehören die tierischen und pflanzlichen Fette und die in ihnen enthaltenen Fettsäuren.

Die Anordnung der Kohlenstoffatome bei allen[1]) aliphatischen Verbindungen können wir unter dem Bilde einer offenen Kette darstellen. Damit soll keinesfalls angedeutet sein, dass die C-atome wie die Glieder einer auf ebener Unterlage ruhenden Kette sich in gerader Linie aneinander fügten. Nach dem, was wir über die den Tetraëderecken entsprechende räumliche Lage der C-Valenzen ausgeführt haben (s. S. 212), liegt es auf der Hand, dass eine längere Kohlenstoffkette vielmehr einer gebrochenen, ihre Richtung im Raume stets wechselnden Linie gleichen muss. Aber wir haben es doch immer mit einer Atomreihe zu thun, mit einer offenen Kette, die zwei Enden hat, an der wir endständige und mittelständige C-atome unterscheiden können. Dadurch ist die Konstitution der aliphatischen Verbindungen charakterisiert.

14. Benzolring.

14. Ihnen gegenüber steht eine überaus große Anzahl von organischen Verbindungen, deren Molekel als Kern einen aus C-atomen bestehenden geschlossenen Ring enthält. Auf die verschiedenen, bis jetzt bekannt gewordenen Kohlenstoffringe wollen wir hier nicht eingehen, wir wollen nur die Konstitution des wichtigsten, des sogenannten Benzolringes, erläutern und einige uns interessierende Benzolabkömmlinge anführen.

Sechs C-atome sind, wie es das Schema



veranschaulicht, in der Weise zu einem geschlossenen sechsgliederigen Ring vereinigt, dass jedes einzelne an den einen Nachbar doppelt, an den anderen einfach gebunden ist. Nach außen bleibt somit an jedem C-atom nur eine Bindung frei; wenn diese bei allen durch H befriedigt

[1]) Ausgenommen sind die Glieder der Methan- und Äthanreihe, also die Verbindungen mit einem und die mit zwei C-atomen, wo noch nicht von Kettenstruktur gesprochen werden kann.

wird, so haben wir die Molekel der einfachsten aller Benzolverbindungen, die des Benzols selbst, C_6H_6. Alle 6 H-atome sind gleichermaaßen vertretbar durch einwertige Atome oder Atomgruppen, durch Alkyle, durch Reste anorganischer und organischer Säuren, durch stickstoffhaltige Gruppen u. s. w. Daraus erklärt sich die große Zahl und Mannigfaltigkeit der Benzolabkömmlinge. Der Benzolring ist chemischen Agentien gegenüber sehr widerstandsfähig; unterwerfen wir eine Reihe beliebiger Benzolkörper eingreifenderen Reaktionen, so treten wohl Substitutionen für Wasserstoff in mannigfachster Art ein, aber der Ring selbst wird nicht angegriffen. Diese Beständigkeit zeigt sich auch bei der Analyse mancher Proteinstoffe; ist in der komplizierten Molekel eines Proteins ein Benzolkern vorhanden, so können wir darauf rechnen, dass er bei hydrolytischen und anderen Spaltungen der Molekel nicht gesprengt werden, also auch dem Nachweis nicht entgehen wird.

Die heute fast allgemein angenommene Vorstellung von dem Bau der Benzolmolekel ist verhältnismäßig neu. Nachdem man 1834 in dem Steinkohlentheer eine gute Quelle der Karbolsäure erkannt hatte, ist dieses Rohmaterial in den folgenden Jahrzehnten in der erfolgreichsten Weise auf Benzolverbindungen ausgebeutet worden. Eine befriedigende Deutung der Konstitution dieser Körper stand aber aus, bis 1865 KEKULÉ die nach ihm benannte Benzoltheorie aufstellte. Seine Lehre von dem sechsgliedrigen geschlossenen Kohlenstoffring ist seitdem an einer Fülle von neuer Thatsachen immer wieder geprüft worden und hat dieser Prüfung standgehalten. Wir können sie also als eine wohlbegründete Theorie ansehen, als den besten Ausdruck alles dessen, was den Benzolderivaten gemeinsam ist.

15. Benzolderivate. Aromatische Verbindungen.

15. Die Gesamtheit der Benzolderivate bezeichnet man auch als aromatische Verbindungen, nicht etwa, weil viele von ihnen ein Aroma haben, sondern weil früher manche, ehe ihre Synthese gelungen war, aus aromatischen Ölen und Harzen dargestellt wurden.[1])

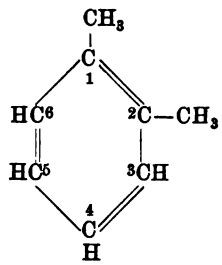
Wie bei den Methanderivaten finden wir auch bei den Benzolabkömmlingen Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Säuren,

[1]) Die beiden großen Kreise der aliphatischen und aromatischen Verbindungen umfassen jetzt zwar immer noch den weitaus wichtigsten, aber doch nicht mehr den ganzen Inhalt der organischen Chemie. Eine Zeitlang war die Zweiteilung der organischen Chemie vollkommen ausreichend. Seit aber die Chemiker sich der Synthese von Kohlenstoff-Stickstoff- und anderen gemischten Ringen zugewendet haben, sind viele neue Körper bekannt geworden, die eine Sonderstellung beanspruchen.

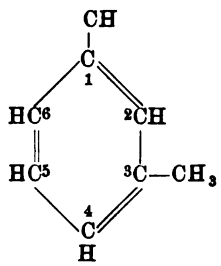
Es braucht übrigens kaum gesagt zu werden, dass das Sechseckschema über die wirkliche Gestalt der Benzolmolekel nichts aussagt. Es hat nur die Aufgabe, die Ringstruktur und den Wechsel von einfacher und doppelter Bindung zur Anschauung zu bringen.

Äther u. s. w. Wir wollen einige Beispiele anführen und an ihnen auf gewisse Eigentümlichkeiten der aromatischen Körper aufmerksam machen. Substituieren wir im Benzol C_6H_6 1, 2, 3 . . . 6 H durch Methyl, Äthyl, Propyl u. s. w., so erhalten wir die aromatischen Kohlenwasserstoffe: Methylbenzol = Toluol $C_6H_5 \cdot CH_3$, Dimethylbenzol = Xylol $C_6H_4(CH_3)_2$, Äthylbenzol $C_6H_5 \cdot C_2H_5$ u. s. w.

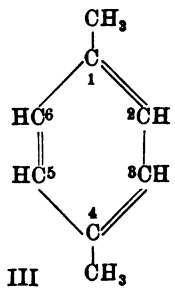
Bei dem Dimethylbenzol machen wir eine höchst bemerkenswerte Beobachtung: es giebt nicht bloß ein Dimethylbenzol, sondern drei. Weitere Erfahrungen lehren, dass von allen Disubstitionsprodukten des Benzols, mögen die Substituenten gleich oder verschieden voneinander sein, je drei Modifikationen existieren. KEKULÉ hat in seiner Benzoltheorie diese gesetzmäßige Isomerie folgendermaßen gedeutet: Wie man sich auch die Gestalt des Sechsringes vorstellen mag, es müssen, wenn zwei H-atome durch andere Atome oder Atomgruppen substituiert werden, stets drei nicht kongruente Molekeln erhalten werden können, deren Verschiedenheit darin beruht, dass die gegenseitige Lage der Substituenten eine verschiedene ist. Ersetzt man 2 H-atome durch 2 Methylgruppen, so entstehen 3 Dimethylbenzole, deren Struktur den Formenbildern entspricht.



I



II



III

Die sechs Kohlenstoffatome des Benzols, genauer ihre 6 nach außen zur Geltung kommenden Valenzen sind untereinander vollkommen gleichartig.[1]) Tritt nur eine Methylgruppe ein, so macht es keinen Unterschied, an welchem C-atom sie den Wasserstoff ersetzt. Es giebt nur ein Monomethylbenzol (Toluol), und es giebt überhaupt keinen einzigen Fall von Isomerie bei einem Monosubstitutionsprodukt des Benzols. Erst der zweite Substituent ermöglicht die Verschiedenheit; er kann dem ersten Substituenten benachbart oder von ihm durch ein oder durch zwei C-atome getrennt sein. Da die räumliche Beziehung von 1 zu 2 identisch ist mit der von 1 zu 6 und ferner die von 1 zu 3 identisch mit der von 1 zu 5, so giebt es außer den drei skizzierten keine andere Form eines zweifach methylierten Benzols. Die Stellung der Substituenten in

[1]) Um die folgenden Erörterungen verständlicher zu machen, sind die C-atome des Benzolringes in den Figuren I, II, III mit Nummern versehen worden.

Fig. I (Stellung 1,2) wird als Ortho-
„ II (Stellung 1,3) „ „ Meta-
„ III (Stellung 1,4) „ „ Para-

stellung bezeichnet. In unserem speziellen Fall haben wir also ein Ortho-, ein Meta- und ein Paradimethylbenzol zu unterscheiden oder kürzer, ein *o*-, ein *m*- und ein *p*-Xylol.

$$C_6H_4 \lesssim \begin{matrix} CH_3\,(1) \\ CH_3\,(2) \end{matrix} \qquad C_6H_4 \lesssim \begin{matrix} CH_3\,(1) \\ CH_3\,(3) \end{matrix} \qquad C_6H_4 \lesssim \begin{matrix} CH_3\,(1) \\ CH_3\,(4) \end{matrix}$$

Die entsprechenden Isomeren finden wir bei allen Disubstitutionsprodukten des Benzols.

Da diese den Benzolderivaten eigentümliche Isomerie durch den Ort der Substitution bedingt wird, so bezeichnet man sie als Orts- (oder Stellungs-)isomerie.

Wie nach der KEKULÉ'schen Theorie zu erwarten, kommt auch bei drei- und vierfach substituierten Benzolen die Ortsisomerie vor. Wir wollen aber von einer Besprechung dieser Fälle absehen.

Ersetzen wir ein oder mehrere H-atome am Benzolring durch die OH-gruppe, so resultieren die Hydroxy- oder, kürzer, Oxybenzole C_6H_5OH, $C_6H_4(OH)_2$, $C_6H_3(OH)_3$ u. s. w. Ihrer Ableitung nach sind die Körper Alkohole, sie sind aber in ihrem Verhalten den Säuren ähnlich, der Wasserstoff ihrer Hydroxylgruppen kann leicht durch Metallatome ersetzt werden. Sie werden als Phenole bezeichnet. Der erste dieser Körper, Phenol schlechtweg genannt, C_6H_5OH, ist die als Desinfiziens viel gebrauchte Karbolsäure. Ein Trioxybenzol $C_6H_3(OH)_3$ ist die Pyrogallussäure oder das Pyrogallol, das aus Gallussäure, einer im Pflanzenreich ziemlich reich verbreiteten Substanz, gewonnen wird. Alkalische Lösungen von Pyrogallol absorbieren begierig Sauerstoff.

Tritt die Aldehydgruppe — COH oder die Carboxylgruppe — COOH für ein H-atom in C_6H_6 ein, so entstehen die Körper C_6H_5. COH und C_6H_5. COOH. Der erstere ist der einfachste aromatische Aldehyd, der Benzaldehyd oder das Bittermandelöl,[1]) das riechende Prinzip der bitteren Mandeln; der zweite die einfachste aromatische Säure, die Benzoësäure, die den Hauptbestandteil des Benzoëharzes ausmacht.

Von der Benzoësäure gelangen wir durch Austausch eines ihrer H-atome gegen OH zur hydroxylierten oder Oxybenzoësäure $C_6H_4 \lesssim \begin{matrix} OH \\ COOH \end{matrix}$. Da die Oxybenzoësäure ein Disubstitutionsprodukt des Benzols ist, so müssen von ihr drei Isomere existieren. Das ist in der That der Fall. Wir kennen eine *o*-, eine *m*- und eine *p*-Oxybenzoësäure, von denen die Orthosäure

[1]) Bittermandelöl ist nicht zu verwechseln mit dem durch Auspressen aus den bitteren und süßen Mandeln gewonnenen gewöhnlichen Mandelöl. Benzaldehyd bleibt in Verbindung mit anderen Radikalen als ein Glykosid, welches den Namen Amygdalin führt, in den Pressrückständen. Vgl. Kap. 10, § 3).

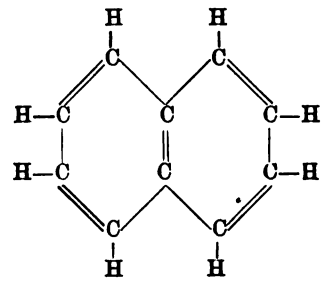
als Antibacteriticum und sehr geschätztes Heilmittel ein besonderes Interesse verdient: es ist dies die Salicylsäure.

Wie die aliphatischen Alkohole und Fettsäuren, so vermögen auch die Phenole und die aromatischen Säuren Äther und Anhydride zu bilden. Bei der Ätherbildung pflegt eine Phenolmolekel mit einer Molekel eines aliphatischen Alkohols zusammenzutreten; z. B.

$$C_6H_5OH + CH_3OH = C_6H_5 - O - CH_3 + H_2O.$$

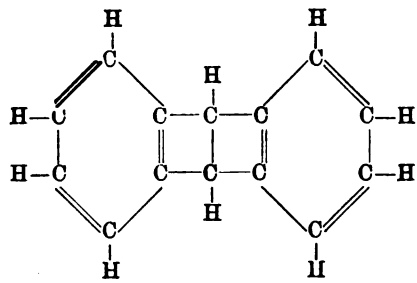
Hierher gehören einerseits gewisse durch ihren stechenden Rauchgeruch und ihre bakterienfeindliche Wirkung ausgezeichnete Holztheeröle (Kreosot, Guajacol), andererseits die riechenden Prinzipien gewisser Pflanzen (Vanillin, Heliotropin, Cumarin).

Alle Körper, die wir als Beispiele verschiedener Gruppen von Benzolderivaten aufgeführt haben, leiteten sich durch Substitution vom Benzolring ab. Den Ausgangspunkt für neue Gruppen aromatischer Substanzen finden wir in der Zusammenschweißung mehrerer Benzolringe. So stellt sich die Molekel des Kohlenwasserstoffes Naphtalin $C_{10}H_8$ als ein Doppelring von nebenstehender Konstitution dar:



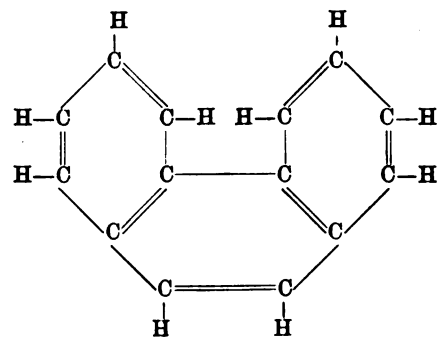
Naphtalin.

Bei dem Anthracen $C_{14}H_{10}$ sind zwei Benzolringe durch zwei Zwischenglieder verbunden, während sein Isomeres Phenanthren drei zusammengeschweißte Benzolringe enthält.



Anthracen.

Diese und andere, noch komplexere Molekeln stehen an der Spitze langer Reihen von Verbindungen, die sich durch Substitution vom Naphtalin, Anthracen, Phenathren u. s. w. ableiten. Allem Anschein nach



Phenanthren.

ist die Vertretbarkeit der H-atome bei den Doppel- und Dreiringen ebensowenig beschränkt wie beim Benzol. Die meisten Körper dieser Reihen sind als Produkte der chemischen Synthese bekannt geworden; doch kommen einige auch in der Lebewelt vor, z. B. die der Anthracengruppe zugehörigen Farbstoffe des Krapps (Alizarin, Purpurin) und der Aloë.

16. Stickstoffverbindungen.

16. In der bisher gegebenen Übersicht über die C-verbindungen wurden absichtlich nur solche Körper erwähnt, die keinen Stickstoff enthalten. Die Unterscheidung von stickstofffreien und stickstoffhaltigen organischen Körpern ist für die systematische Chemie, aber noch mehr für die Physiologie von großer Bedeutung. Wir werden die physiologisch wichtigsten dieser Stoffe im folgenden Kapitel eingehender besprechen. An dieser Stelle wollen wir nur die hauptsächlichsten Typen der Stickstoffverbindungen übersichtlich zusammenstellen.

Stickstoff tritt bald als dreiwertiges, bald als fünfwertiges Element auf. Als Typus einer Verbindung des dreiwertigen Atoms können wir das Ammoniak NH_3, als Typus einer Verbindung des fünfwertigen Atoms das Ammoniumhydroxyd $NH_4 \cdot OH$ ansehen. Wie man die Kohlenstoffverbindungen aus dem Methan CH_4 ableitet, indem man ein oder mehrere der H-atome durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt, so können die Stickstoffverbindungen von einer der genannten typischen Verbindungen durch Substitution abgeleitet werden.

Die Verbindung NH_4OH, Ammoniumhydroxyd genannt, wird als ein Hydroxyd angesehen, in welchem statt eines Metallatoms die einwertige Gruppe NH_4', Ammonium, mit der Hydroxylgruppe verbunden ist. Das Hydroyxd NH_4OH ist eine starke Base und bildet, wie die Hydroxyde der Metalle, Salze mit anorganischen und organischen Säuren, z. B.

NH_4OH	+	HCl	=	NH_4Cl	+	HOH
Ammonium-hydroxyd		Chlor-wasserstoff		Ammonium-chlorid		Wasser.

NH_4OH	+	CH_3COOH	=	$CH_3 \cdot COONH_4$	+	HOH
Ammonium-hydroxyd		Essigsäure		Ammonium acetat		Wasser

Aus dem Ammoniak NH_3 kann man die einwertige Amido- oder Aminogruppe NH_2' und die zweiwertige Imidogruppe NH'' ableiten. Da diese Gruppen in jede Kohlenstoffverbindung an die Stelle eines bezw. zweier H-atome oder auch an die Stelle anderer

Gruppen und Radikale eintreten können, so ist damit die Bildung einer großen Anzahl stickstoffhaltiger organischer Verbindungen gegeben. Zu den einfachsten organischen Ammoniakabkömmlingen führt die Substitution der Wasserstoffe des Ammoniaks durch einwertige aliphatische oder aromatische Gruppen, z. B. $NH_2 \cdot CH_3$ Methylamin, $NH(CH_3)_2$ Dimethylamin, $NH_2 \cdot C_6H_5$ Amidobenzol oder, da man den einwertigen Benzolrest C_6H_5' als Phenylgruppe bezeichnet, Phenylamin. Das Phenylamin ist der unter dem Namen Anilin bekannte Körper, der als Ausgangsmaterial für die Gewinnung der Anilinfarben und mancher wertvollen Heilmittel (Antifebrin) große Bedeutung erlangt hat. Auch alle drei H-atome können so ersetzt werden; ein Beispiel hierfür ist das Trimethylamin $N(CH_3)_3$, das als Zersetzungsprodukt der Proteine vorkommt. Alle diese Körper fasst man unter dem Namen Amine zusammen.

17. Amidosäuren und Amide.

17. Eine zweite Reihe organischer Ammoniakderivate entsteht durch den Eintritt von NH_2' in eine organische Säure. Aus Essigsäure $CH_3 \cdot COOH$ wird so Amidoessigsäure $CH_2(NH_2) \cdot COOH$, auch Glyzin oder Glykokoll genannt.[1]) Mit einer anderen Säure, der Cholalsäure, vereinigt (gepaart), kommt diese Säure in der Galle vor; diese Verbindung wird Glykocholsäure genannt.

Mit Benzoësäure gepaart, tritt das Glykokoll als Hippursäure ziemlich reichlich im Harn der Pflanzenfresser auf. Die Paarung vollzieht sich in der Weise, dass für ein H-atom des NH_2 der einwertige Benzoësäurerest $C_6H_5 \cdot CO'$, die Benzoylgruppe, eintritt. Die Hippursäure ist also Benzoylglykokoll von der Konstitution $CH_2 \cdot (NH \cdot C_6H_5CO) \cdot COOH$.

Von der Propionsäure $CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH$ leiten sich zwei verschieden konstituierte Amidosäuren ab, $CH_3 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ [α-Amidopropionsäure] und $CH_2(NH_2) \cdot CH_2 \cdot COOH$ [β-Amidopropionsäure]. Tritt die erstere mit der einwertigen Oxyphenylgruppe $C_6H_4 \langle^{OH}$ zusammen, und zwar so, dass die beiden Substituenten am Benzolring sich in Parastellung befinden, so entsteht die p-Oxyphenyl-α-amidopropionsäure, $C_6H_4 \langle^{OH}_{CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH}{}^{(1)}_{(4)}$ oder das Tyrosin, ein charakteristisches Spaltungsprodukt der Proteine und der Hornsubstanz (nicht aber des Leims), das im besonderen auch bei der Eiweißfäulnis entsteht. Die Lebensprozesse oder chemischen Operationen, bei denen sich Tyrosin bildet, führen fast regelmäßig auch zur Bildung einer anderen Amidosäure, des Leucins, einer α-Amidocapronsäure; welcher die Formel $C_4H_9 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ zukommt.

[1]) Der Name Glykokoll oder Leimsüß bezieht sich darauf, dass sich der Körper bei der Zersetzung des Leimes bildet.

Sehr leicht werden Leucin und Tyrosin aus dem Pankreas gewonnen, und wahrscheinlich sind sie in diesem Organ, in kleinen Mengen wenigstens, schon fertig vorgebildet enthalten.

Auch die zweibasische Bernsteinsäure $COOH \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$, die wir schon (S. 209) kennen gelernt haben, liefert physiologisch wichtige Amidoderivate. Es sind deren zwei zu nennen, die Monoamidobernsteinsäure oder Asparaginsäure

$$\begin{array}{l} CH(NH_2) \cdot COOH \\ | \\ CH_2 \cdot COOH \end{array}$$

und ihr Amid, das auch an Stelle von OH in einer COOH-Gruppe noch NH_2 enthält, das Asparagin

$$\begin{array}{l} CH(NH_2) \cdot COOH \\ | \\ CH_2 \cdot CONH_2 \end{array}$$

Beide sind im Pflanzenreich weit verbreitet. Die Asparaginsäure findet sich reichlich in der Rübenmelasse, das Asparagin namentlich in ganz jungen Pflanzen, im Spargel, in Bohnen-, Erbsen- und Getreidekeimen, woraus man geschlossen hat, dass es an der Bildung des sich entwickelnden Pflanzenleibes beteiligt sein müsse.

Als Begleiter der Asparaginsäure wird in gewissen Pflanzen und pflanzlichen Produkten noch eine andere amidierte zweibasische Säure, die Glutaminsäure

$$CH_2 \begin{array}{l} \diagup CH(NH_2) \cdot COOH \\ \diagdown CH_2 \cdot COOH \end{array}$$

angetroffen. Sie tritt gleichfalls unter den Zersetzungsprodukten tierischer Eiweißkörper auf.

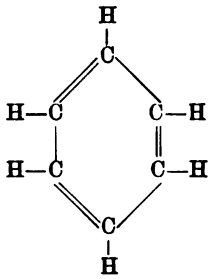
Von besonderem physiologischem Interesse sind schließlich die Amidoderivate der Kohlensäure. Tritt ein NH_2 in $CO \begin{array}{l} \diagup OH \\ \diagdown OH \end{array}$ an Stelle von OH, so ensteht die Amidokohlensäure oder Carbaminsäure $CO \begin{array}{l} \diagup NH_2 \\ \diagdown OH \end{array}$; wird auch das zweite OH durch NH_2 ersetzt, so erhalten wir Carbaminsäureamid oder Carbamid $CO \begin{array}{l} \diagup NH_2 \\ \diagdown NH_2 \end{array}$, den Harnstoff.[1])

Manche Beobachtungen sprechen dafür, dass die Carbaminsäure die Vorstufe des Harnstoffs im Tierkörper darstellt.

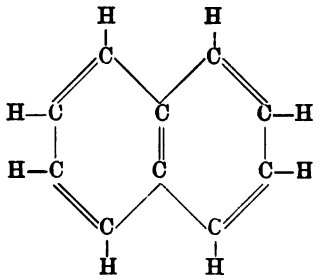
[1]) Harnstoff wurde von Rouelle entdeckt und 1773 zuerst unter dem Namen Extractum saponaceum urinae beschrieben. 1799 wurde er von Fourcroy und Vauquelin rein dargestellt. Synthetisch gewann ihn Wöhler 1828 aus isocyansaurem Ammonium $CON \cdot NH_4$, das sich durch intramolekulare Umlagerung in Harnstoff $CO(NH_2)_2$ umwandelt. Die Wöhler'sche Synthese hat in der Biologie um deswillen eine hohe Bedeutung erlangt, weil sie zum erstenmal zeigte, dass eine Substanz, deren Bildung bis dahin ausschließlich an die Lebensthätigkeit des tierischen Organismus gebunden zu sein schien, auch künstlich dargestellt werden könne.

Die einfachen Amidoverbindungen, die wir bisher angeführt haben, nehmen unsere Aufmerksamkeit vornehmlich deshalb in Anspruch, weil sie als Spaltungsprodukte oder auch als Vorstufen der Proteinstoffe in den Lebewesen vorkommen. Aber sie sind keineswegs die einzigen stickstoffhaltigen Bruchstücke jener komplizierten Substanzen des Tier- und Pflanzenleibes. Außer ihnen finden wir noch ganze Reihen von Verbindungen weniger einfacher Konstitution, mit 3, 4 und 5 N-atomen, teils sauren, teils basischen Charakters, vielfach auch Verbindungen mit ringförmiger Struktur. Wir erwähnen hier kurz die Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$, das Kreatin $NH = C \begin{matrix} \diagup NH_2 \\ \diagdown N\ (CH_3)\cdot CH_2\cdot COOH, \end{matrix}$ sein Anhydrid Kreatinin und die Xanthinbasen. Die letzteren werden im folgenden Kapitel noch zu berücksichtigen sein. Ihnen sowohl wie der Harnsäure liegt ein aus C- und N-atomen sich aufbauender Ring, genauer ein Ringsystem zu Grunde, welches jedoch in seinem Bau von dem Benzolring verschieden ist.

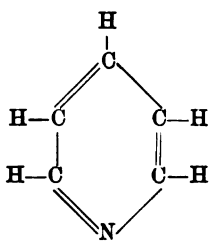
18. Dem Typus des Benzol- und des Naphtalinkerns begegnen wir bei den Stickstoffbasen Pyridin und Chinolin und ihren Abkömmlingen. Diese beiden Basen gleichen dem Benzol und Naphtalin nicht allein in ihrer Ringstruktur, sondern auch in ihrem ganzen chemischen Verhalten, besonders in ihrer Beständigkeit gegen starke chemische Agentien. Wird in der Benzolformel ein CH durch ein dreiwertiges N-atom ersetzt, so resultiert Pyridin, der gleiche Ersatz führt vom Naphtalin zum Chinolin. 18. Kohlenstoff-Stickstoffringe. Alkaloide.



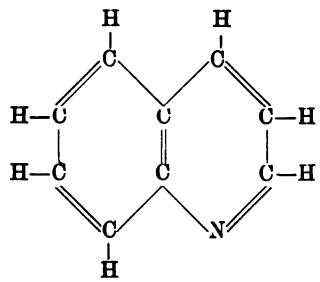
Benzol.



Naphtalin.



Pyridin.



Chinolin.

Gegenüber den indifferenten Kohlenwasserstoffen Benzol und Naphtalin gewinnen Pyridin und Chinolin durch das N-atom ausgesprochen basischen Charakter; mit Säuren bilden sie gleich den einfachen Alkylaminen (vgl. § 12) Salze. Da ihre Wasserstoffatome wie die des Benzols und Naphtalins durch andere Elemente oder Atomgruppen in der mannigfaltigsten Weise vertreten werden können, so stellen sie sich als die Stammsubstanzen zahlreicher komplizierterer Stickstoffverbindungen dar. Unter ihren Abkömmlingen sind unzweifelhaft die wichtigsten die Alkaloide, jene Stickstoffbasen pflanzlichen Ursprungs, die sich durch eine erstaunliche physiologische Wirksamkeit auszeichnen. Zu diesen sehr giftigen, aber auch als Heilmittel viel verwendeten Körpern gehören Morphin, Codein, Chinin, Strychnin, Atropin, Nikotin u. a.

Über die stickstoffhaltigen Körper aus der Klasse der Proteinstoffe siehe das folgende Kapitel.

Zehntes Kapitel.

Kohlenhydrate, Fette und Proteinstoffe.

1. So wechselnd und mannigfaltig die chemische Zusammensetzung der Lebewesen auch erscheinen mag, drei Gruppen organischer Verbindungen sind es, die sich fast ausnahmslos an dem Aufbau jedes Tier- und Pflanzenleibes und zugleich an der Aufrechterhaltung der Lebensthätigkeiten beteiligen: die Kohlenhydrate, die Fette und die Proteinstoffe. Von diesen dreien stehen die Proteinstoffe an Lebenswichtigkeit obenan. Sie machen nicht allein der Masse, sondern auch der Bedeutung nach den Hauptbestandteil aller Lebewesen aus, sie sind gewissermaßen das Substrat, die chemische Grundlage alles Lebens. Auch die Kohlenhydrate und die Fette sind in der Lebewelt sehr verbreitet; erstere finden sich vorzugsweise in Pflanzen, letztere bei Pflanzen und noch mehr bei Tieren in beträchtlicher Anhäufung. Sehr oft treten beide Arten von Verbindungen nebeneinander auf, aber die einen oder die anderen fehlen auch mitunter und können daher nicht für jede lebende Zelle als absolut unentbehrlich angesehen werden. 1. Grundstoffe des Pflanzen- und Tierleibes.

In einem späteren Kapitel werden wir sehen, dass diese drei Gruppen organischer Stoffe in den Pflanzen gebildet werden, und dass sie für tierische Organismen die wichtigsten Nahrungs- oder Nährstoffe sind. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach unterscheiden sie sich vor allem dadurch, dass die Kohlenhydrate und Fette nur aus den Elementen C, H und O bestehen, während die Proteinstoffe außerdem noch N, S und P enthalten. Da das Fehlen oder Vorhandensein von N für die Rolle, welche ein Stoff bei der Ernährung der Tiere spielt, wichtig ist, so empfiehlt es sich, die Kohlenhydrate und Fette als stickstofffreie Nährstoffe von den Proteinen als stickstoffhaltigen Nährstoffen scharf zu trennen.

Der C-Gehalt beträgt bei den Kohlenhydraten rund 40 %, bei den Fetten 60—80 %, der O-Gehalt bei den ersteren rund 50 %, bei den letzteren schwankt er zwischen 30 und 10 %. Die Kohlenhydrate sind also höher oxydiert als die Fette, ihre völlige Ver-

brennung — zu CO_2 und H_2O — verlangt weniger O als die der Fette, erzeugt daher auch geringere Wärmemengen.

2. Kohlenhydrate.

2. Die Kohlenhydrate sind Verbindungen von der empirischen Zusammensetzung $C_m(H_2O)_n$, d. h. sie enthalten die Elemente H und O in demselben Verhältnis, in welchem diese Wasser bilden. Hieraus erklärt sich ihr Name; sie sind gewissermaßen Hydrate des Kohlenstoffs $[C_m + (H_2O)_n]$.[1]) Bei vielen Kohlenhydraten ist $m = n$; dann geht die Formel in die einfachere $(CH_2O)_m$ über. Hierbei wird m vorläufig nicht kleiner als 3 angenommen, so dass die Zusammensetzung des einfachsten Kohlenhydrats — es ist dies die sogenannte Glyzerose — durch $C_3H_6O_3$ ausgedrückt wird.

Man pflegt die Kohlenhydrate, indem man von ihren wichtigsten in der Natur vorkommenden Vertretern ausgeht, in 3 Gruppen einzuteilen, in die einfachen Zucker (*Monosaccharide* oder *Glykosen* $C_6H_{12}O_6$), in die Doppelzucker *(Disaccharide* oder *Saccharosen* $C_{12}H_{22}O_{11}$) und in die *Polysaccharide* $(C_6H_{10}O_5)_m \pm nH_2O$).

Zu einer vollständigen Übersicht über das ganze Gebiet genügt allerdings diese Einteilung nicht mehr, seitdem Kohlenhydrate mit 5 C-atomen in den Lebewesen aufgefunden und solche mit 3, 7 und 9 C-atomen synthetisch gewonnen worden sind. Emil Fischer, dessen Forschungen der Lehre von den Zuckerarten ein ganz neues Gepräge gegeben haben, unterscheidet nach der Anzahl der C-atome folgende Gruppen von Zuckern:

Triosen	$C_3H_6O_3$
Tetrosen	$C_4H_8O_4$
Pentosen	$C_5H_{10}O_5$
Hexosen (= Glykosen)	$C_6H_{12}O_6$
Heptosen	$C_7H_{14}O_7$
Nonosen	$C_9H_{18}O_9$
Hexobiosen (= Saccharosen)	$C_{12}H_{22}O_{11}$*)
Hexotriosen (zu den Polysacchariden gehörig)	$C_{18}H_{32}O_{16}$**)

*) $= 2(C_6H_{12}O_6) - H_2O$ **) $= 3(C_6H_{12}O_6) - 2H_2O$.

Dieses System, dessen erste Voraussetzung die Kenntnis der Molekularformel ist, lässt sich nach oben hin bei den Polysacchariden noch nicht vollständig durchführen, da bei ihnen die Schwierigkeiten der Molekulargewichtsbestimmung erst zu einem sehr kleinen Teil über-

[1]) Damit soll durchaus nicht gesagt sein, dass dies wirklich die Konstitution der Kohlenhydrate sei. Auch muss man sich hüten, jede Verbindung, welche die Elemente C, H, O in den angebenen Verhältnissen enthält, zu den Kohlenhydraten zu rechnen. So gehören, um nur einige Beispiele zu nennen, Essigsäure ($C_2H_4O_2$) und Milchsäure ($C_3H_6O_3$) nicht zu ihnen; ebensowenig Inosit ($C_6H_{12}O_6$)oder das Benzochinon ($C_6H_4O_2$).

wunden sind. Wir müssen uns vorläufig mit dem weiten Begriff „Polysaccharide" begnügen.

Innerhalb jeder Gruppe lässt sich auf Grund des chemischen Charakters noch eine weitere zweckmäßige Unterscheidung treffen. Die Zucker sind entweder Aldehyde oder Ketone, sie entsprechen entweder der Formel R·CHO oder der Formel R·CO·R′ (vgl. Kap. IX § 8). Man bezeichnet sie daher nach E. FISCHER als Aldosen = Aldehydzucker oder als Ketosen = Ketonzucker. Dieser Unterschied kommt gerade bei den bekanntesten Zuckern, den Hexosen, in Betracht.

Bei den Lebensvorgängen und dem chemischen Aufbau der Lebewesen treten hinter den Glykosen (Hexosen), Saccharosen (Hexobiosen) und den nicht krystallisierenden Polysacchariden alle übrigen Kohlenhydrate so sehr an Bedeutung zurück, dass wir uns im Folgenden auf jene drei Gruppen beschränken können. Nur die Pentosen sollen nebenher noch kurz berücksichtigt werden.

Die Glykosen stehen sowohl zu den Saccharosen wie zu den Polysacchariden in dem Verhältnis von Hydrat zu Anhydrid. Aus den oben angegebenen Formeln leiten sich ohne weiteres die Gleichungen ab

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = 2C_6H_{12}O_6$$
$$(C_6H_{10}O_5)_m + mH_2O = mC_6H_{12}O_6.$$

Die hierin ausgesprochenen Umsetzungen sind nicht bloß willkürlich angenommen; die Doppelzucker und die meisten Polysaccharide lassen sich durch Hydrolyse glatt in Glykosen überführen. Durch diese nahen Beziehungen sowohl zu den Saccharosen wie zu den Polysacchariden heben sich die Glykosen als theoretisch wichtigste Gruppe der Kohlenhydrate heraus, sie bilden gleichsam den Schlüssel zu den übrigen Gruppen.

3. Die Glykosen sind krystallisierende, in Wasser und in Alkohol lösliche, diffusible, optisch aktive, schwach süß schmeckende Körper. Ihr Krystallisationsvermögen ist nicht immer stark ausgesprochen; einzelne sind bis jetzt nur in syrupöser Form bekannt. Der bekannteste Vertreter der Glykosen ist der Traubenzucker oder die Glykose schlechtweg, früher wegen seiner rechtsdrehenden Wirkung auf polarisiertes Licht auch Dextrose genannt. Er tritt, von anderen Glykosen begleitet, im Pflanzenreich sehr häufig auf, in süßen Früchten (Beeren, Weintrauben, Äpfeln u. a.), in den Nektarien der Blüten, im Honig; auch im Tierkörper findet er sich häufig, wenn auch nur in geringeren Mengen, so im Blut und in anderen Körperflüssigkeiten. Chemisch gebunden teils an aliphatische, teils an aromatische Körper kommt er in Gestalt der Glykoside[1]) in vielen Pflanzen vor. 3. Einfache Zucker. Glykose.

[1]) Die Glykoside sind als ätherartige Verbindungen aufzufassen. Sie bestehen aus einem Kohlenhydratrest und aus einem Alkohol-, Aldehyd- oder Phenolrest. Durch Säuren oder durch gewisse Fermente werden sie in ihre

Traubenzucker kann leicht im großen Maßstab aus Kartoffel- und anderer Stärke durch Hydrolyse — Auflösen der Stärke in heißer verdünnter Schwefelsäure und nachfolgendes Kochen unter Druck — dargestellt werden und heißt daher auch Kartoffel- oder Stärkezucker. Synthetisch hat ihn zuerst EMIL FISCHER im Jahre 1890 gewonnen. Theoretisch können wir ihn ableiten von dem normalen Hexan C_6H_{14} $= CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_3$. Substituieren wir an den ersten 5 C-atomen dieser Kette je 1 H durch OH und wandeln wir die letzte endständige CH_3-Gruppe in die Aldehydgruppe — CHO um, so erhalten wir den normalen Pentaoxyhexylaldehyd $CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CHO$ = Traubenzucker. Seiner Konstitution nach ist er also zugleich Alkohol und Aldehyd, er ist eine Aldose. Die Alkoholnatur prägt sich darin aus, dass er Alkoholate und Ester zu bilden vermag, die Aldehydnatur darin, dass er alkalische Metallsalzlösungen energisch reduziert.

Sein Reduktionsvermögen ist die Grundlage der vielfach angewendeten Zuckerproben von TROMMER und von NYLANDER, die darauf beruhen, dass eine alkalische Kupfer- bezw. Wismuthlösung beim Erhitzen mit Zucker in augenfälliger Weise reduziert wird. Benutzt man eine Kupferlösung von bekanntem Wirkungswert, eine FEHLING'sche Lösung, so ermöglicht die Reaktion nicht allein den Nachweis, sondern auch die quantitative Bestimmung des Zuckers.

Als Aldehyd reagiert der Traubenzucker glatt mit Phenylhydrazin, einer aromatischen Base von der Formel $C_6H_5NH \cdot NH_2$. Er liefert damit eine schöne krystallisierende Doppelverbindung, das Phenylglykosazon. Da dieser Körper noch aus Flüssigkeiten mit sehr geringem Traubenzuckergehalt gewonnen werden kann, so hat sich die nicht schwer auszuführende Reaktion als Zuckerprobe schnell Eingang verschafft. Die strohgelben Krystalle (Fig. 29) sind fast immer typisch ausgebildet; ihr Schmelzpunkt liegt bei 204—205°, was in zweifelhaften Fällen zur Sicherstellung der Identität dienen kann. Analog zusammengesetzte Doppelverbindungen lassen sich auch aus anderen Zuckern, aus allen Aldosen und Ketosen, darstellen; daher ist das Phenylhydrazin ein wertvolles Reagens für den Nachweis zuckerartiger Kohlenhydrate. Diese für die einzelnen Aldosen und Ketosen meistens sehr charakteristischen Doppelverbindungen werden als Osazone bezeichnet.

Komponenten gespalten. Das Kohlenhydrat ist beim Salicin, Populin, Hesperidin, Amygdalin Traubenzucker. Andere Glykoside liefern andere Zucker. Das in den bittern Mandeln und in den Fruchtkernen der Pomaceen vorkommende Amygdalin zerfällt bei der Spaltung in 3 Komponenten, in Glykose, Benzaldehyd (Bittermandelöl) und Blausäure:

$$C_{20}H_{27}NO_{11} + 2H_2O = 2C_6H_{12}O_6 + C_6H_5 \cdot CHO + CNH.$$

Das spaltende Ferment Emulsin ist in den bittern Mandeln selbst enthalten.

Ein Blick auf die Konstitutionsformel der Glykose lehrt, dass ihre Molekel vier asymmetrische C-atome enthält. Danach ist zu erwarten erstens, dass es mehrere dieser Formel entsprechende stereoisomere Körper giebt, und zweitens, dass unter diesen Isomeren die einen rechtsdrehend, die anderen linksdrehend und wieder andere optisch inaktiv sein müssen. Beide Voraussetzungen treffen zu. Von den 16 nach der VAN'T HOFF—LE BEL'schen Theorie möglichen Stereoisomeren, die alle die Konstitution der Glykose haben, sind bereits drei, die Glykose, die Mannose und die Galaktose, bekannt, und ferner hat man von diesen drei Hexosen außer ihren in der Natur vorkommenden rechtsdrehenden Modifikationen auch die linksdrehenden und die inaktiven Formen dargestellt. Wo die Möglichkeit einer Verwechslung besteht, ist es daher notwendig, wie bei den Weinsäuren, die vorliegende Modifikation eines Zuckers als rechtsdrehend, linksdrehend oder als inaktiv zu bezeichnen.

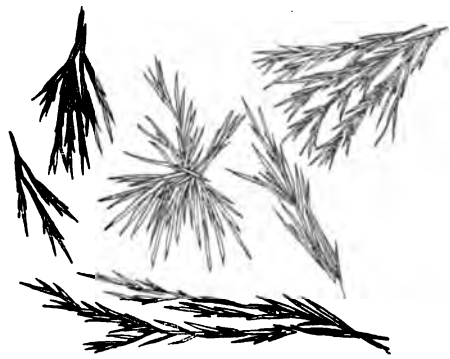


Fig. 29.
Krystalle von Phenylglykosazon.

4. Biologisch von großem Interesse sind die als Gärungen bezeichneten Zersetzungen des Traubenzuckers durch die Lebensthätigkeit von Mikroorganismen. Gewisse Spross- und Spaltpilze bringen, wenn sie in zuckerhaltigen Flüssigkeiten gezüchtet werden, den Traubenzucker in charakteristischer Weise zum Zerfall. 4. Gärungen.

Wir heben drei Arten von Gärung hervor:

1. die alkoholische oder geistige Gärung, welche durch Hefe (*Saccharomyces*), auch durch einige Mucorarten herbeigeführt wird. Die Glykose zerfällt dabei in Alkohol und Kohlendioxyd:

$$C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2.$$

Glykose Alkohol Kohlendioxyd

Im größten Maßstab vollzieht sich dieser Vorgang bei der Bereitung alkoholischer Getränke aus stärke- und zuckerhaltigen Früchten. Im kleinen bedient man sich der Vergärung mit Hefe zum Nachweis von Zucker in zuckerverdächtigen Flüssigkeiten. Man benutzt zu dieser Gärungsprobe ein sogenanntes Gärungsröhrchen von der in Fig. 30 (S. 234) gezeichneten Gestalt.

Man füllt das Röhrchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit so weit, wie es die Figur andeutet, trägt ein etwa erbsengroßes Stück frischer Presshefe ein und lässt den Apparat 24 Stunden bei guter Zimmer-

temperatur stehen. Ist Glykose vorhanden, so entwickelt sich infolge der Gärwirkung der Hefe Kohlendioxyd, das sich in dem geschlossenen Schenkel ansammelt. Dass das Gas Kohlendioxyd ist, lässt sich nachweisen, in dem man Kalilauge mittels einer gekrümmten Pipette in den geschlossenen Schenkel bringt; das Gas wird schnell und vollkommen absorbiert. Verglichen mit den anderen Zuckerreaktionen, muss die Gärungsprobe als zuverlässigste Reaktion bezeichnet werden.

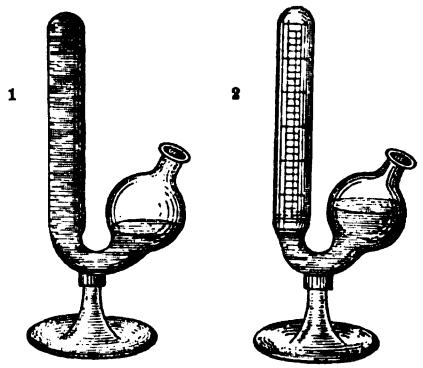


Fig. 30.
Gärungsröhrchen zum Nachweis der Alkoholischen Gärung aus Zucker durch Hefe; 1 vor, 2 nach Vollendung der Gärung.

2. die Milchsäuregärung. Sie wird hervorgerufen durch stäbchenförmige Spaltpilze (*Bacterium lactis, Bacillus acidi lactici*). Die Glykosemolekel wird dabei in zwei Molekeln Milchsäure gespalten: $C_6H_{12}O_6 = 2\ C_3H_6O_3$.

Die Gärungsmilchsäure ist die inaktive α-Oxypropionsäure $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH$, deren Isomerieverhältnisse wir im 9. Kapitel (S. 209) besprochen haben. Sie ist es, deren Auftreten das spontane Sauerwerden der Milch bedingt. (Ihre Quelle ist in diesem Fall der Milchzucker, siehe § 7).

3. die Buttersäuregärung. Der *Bacillus butyricus*, ein anaërober Pilz, bildet aus Glykose normale Buttersäure, Kohlendioxyd und elementaren Wasserstoff:

$$C_6H_{12}O_6 = C_4H_8O_2 + 2\ CO_2 + 2\ H_2.$$

Die Gärung geht um so rascher von statten, je besser die zuckerhaltige Flüssigkeit von Sauerstoff befreit und vor der Berührung mit Luft geschützt wird. Bei der Milch pflegt sich, wenn sie längere Zeit der Säuerung überlassen bleibt, an die Milchsäuregärung die Buttersäuregärung anzuschließen.

Der *Bacillus acidi lactici* und der *Bacillus butyricus* sind nicht die einzigen Mikroorganismen, welche die sauren Gärungen zu erregen vermögen; es giebt vielmehr eine große Zahl von Bakterien, denen die gleiche Fähigkeit, wenn auch nicht in gleichem Grade, eigen ist.[1])

5. Fruktose, Galaktose, Mannose.

5. Als Begleiter des Traubenzuckers findet sich besonders im Pflanzenreich häufig der Fruchtzucker, die Fruktose[2]), so in

[1]) Über anaërobe Pilze vgl. Kap. 14, über Gärung und andere, durch sogenannte Fermente und Enzyme bewirkte Vorgänge Kap. 16 und 17.

[2]) Da der Fruchtzucker die Ebene des polarisierten Lichtes nach links ablenkt, wurde er früher auch Lävulose genannt. Der Name hat keinen Sinn

den süßen Früchten und im Honig. Als echte Hexose hat er die Zusammensetzung $C_6H_{12}O_6$; seiner Konstitution nach ist er ein Ketonalkohol, eine Ketose von der Formel

$$CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot CH_2(OH).$$

Die natürliche Fruktose ist in reinem Zustand ein krystallinischer Körper. In Wasser löst sie sich leichter als Glykose. Sie ist linksdrehend; ihr optischer Antipode ist künstlich dargestellt worden, ebenso der aus den beiden Antipoden aufgebaute inaktive Fruchtzucker. Auf alkalische Metallsalzlösungen wirken diese Ketosen wie Traubenzucker ein; ebenso geben sie mit Phenylhydrazin dasselbe Phenylglykosazon wie Traubenzucker, ein Umstand, der bei der Feststellung ihrer Konstitution entscheidend gewesen ist, und der E. FISCHER in den Stand gesetzt hat, Traubenzucker in Fruchtzucker umzuwandeln. Mit Hefe gärt Fruktose viel langsamer als Glykose, so dass sie bei der Vergärung eines Gemenges beider Zucker zu einer bestimmten Zeit nur noch allein vorhanden ist.

Die Galaktose, eine krystallinische, in Wasser schwer lösliche Hexose, ist eine Aldose von der Struktur des Traubenzuckers, aber von anderer Konfiguration der asymmetrischen C-atome. Sie giebt die gebräuchlichen Zuckerreaktionen, wird jedoch von Hefe nur schwer vergärt. Physiologisch ist sie wichtig als Komponent des Milchzuckers, aus dem sie gewöhnlich dargestellt wird, und ferner als Bestandteil des stickstoffhaltigen glykosidartigen Cerebrins, das sich in der Gehirnsubstanz findet. Dass aus Cerebrin beim Kochen mit verdünnter Schwefelsäure ein reduzierender zuckerartiger Körper abgespalten wird, ist seit längerer Zeit bekannt. Man nannte diesen Körper „Gehirnzucker"; später ist er als Galaktose erkannt worden.

Eine Hexose, die bei der künstlichen Darstellung von Traubenzucker und Fruchtzucker eine hervorragende Rolle gespielt hat, ist die Mannose. Sie ist das Oxydationsprodukt des Mannits, eines sechswertigen Alkohols von der Formel $C_6H_8(OH)_6$, der sich in vielen Pflanzen, namentlich aber in der Manna, dem eingetrockneten Saft der Mannaesche (*Fraxinus Ornus*), und dem Saft der Lärche (*Larix*) findet. Direkt kann die Mannose aus dem Schleim der Salepwurzelknollen (Tubera Salep, den rundlichen Knollen von *Orchis Morio*) und aus den Steinnusssamen gewonnen werden. Die natürliche Mannose ist ein dem Traubenzucker stereoisomerer rechtsdrehender Aldehydzucker, der auf alkalische Metallsalzlösungen reduzierend wirkt und mit Hefe ebenso leicht gärt wie Glykose. Ihr Osazon, das Phenylmannosazon, ist mit dem Glykosazon identisch, ein Umstand, aus dem sich für die Beziehungen ihrer räumlichen Struktur zu der des Traubenzuckers ganz bestimmte Folgerungen

---

mehr, seit wir noch andere linksdrehende Glykosen kennen gelernt haben, und sollte ganz fallen gelassen werden.

ergeben. Die linksdrehende und die inaktive Mannose lassen sich künstlich darstellen.

6. Pentosen. 6. Nur kurz erwähnt seien hier die Kohlenhydrate mit nur 5 C-atomen, die Pentosen. In freiem Zustande hat man die Pentosen bisher in den Pflanzen nicht gefunden, sie entstehen aber aus pflanzlichem Gummi und Pektinstoff unter der Einwirkung verdünnter Säuren. Es sind süß schmeckende, krystallisierende, optisch aktive Körper von der Formel $C_5H_{10}O_5$. Sie reduzieren alkalische Kupferlösung, gären aber nicht mit Hefe. Hierher gehört die Arabinose, die aus Gummi arabicum, Kirschgummi und aus Rübenschnitzel gewonnen wird. Sie ist eine Aldose von der Konstitution $CH_2(OH)\cdot CH(OH)\cdot CH(OH)\cdot CH(OH)\cdot CHO$ und liefert mit Phenylhydrazin Arabinosazon; ferner die Xylose oder der Holzzucker aus Holzgummi.

Als eine methylierte Pentose ist die Rhamnose aufzufassen, das Kohlenhydrat der Glykoside Xanthoramnin und Quercitrin. Sie hat die Formel $CH_3\cdot C_5H_9O_5$ und die Konstitution $CH_3\cdot[CH(OH)]_4\cdot CHO$, ist also eine Aldose.

Bei gewissen Stoffwechselstörungen scheinen die Pentosen im Harn des Menschen aufzutreten.

7. Saccharosen. 7. Wir kommen jetzt zu den Doppelzuckern, den Disacchariden, Saccharosen oder Hexobiosen. Hierher gehören der Rohrzucker, der Milchzucker und die Maltose. Alle drei sind krystallinische, wasserlösliche, rechtsdrehende Körper von der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$. Nach ihrer engen Beziehung zu den Hexosen

$$2\,C_6H_{12}O_6 - H_2O = C_{12}H_{22}O_{11}$$

sollte man erwarten, dass es gelingen müsste, sie aus den Hexosen aufzubauen. Bis jetzt aber steht diese Synthese noch aus. Dagegen gelingt es leicht, die natürlichen Saccharosen in einfache Zucker zu spalten. Es ist daher richtiger, die Beziehung beider Zuckerarten zueinander vorläufig nur durch die Gleichung

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = 2\,C_6H_{12}O_6$$

zu kennzeichnen.

Der Rohr- oder Rübenzucker findet sich im Saft vieler Pflanzen, besonders in den Zuckerrüben (*Beta vulgaris*) und im Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*), aus denen er fabrikmäßig dargestellt wird. Als Nahrungs- und Genussmittel kommt ihm kein anderer Zucker an Bedeutung gleich. Der Rohrzucker ist ausgezeichnet krystallisationsfähig (Krystallzucker). Erhitzt man die trocknen Krystalle für sich auf 160°, so schmelzen sie; bei 190—200° färbt sich die Schmelze unter Entwicklung eines eigenartigen Geruches tiefbraun, und der Zucker wandelt sich in das nicht mehr krystallisierende, bitter schmekende Caramel (Zuckercouleur) um. Der Rohrzucker giebt direkt die gewöhnlichen Zuckerproben (Trommer, Nylander) nicht, er verbindet sich

nicht mit Phenylhydrazin und wird von Hefe erst nach Spaltung in seine Komponenten vergärt. Seine Spaltung, die man als Inversion bezeichnet, kann leicht durch Kochen mit verdünnten Säuren herbeigeführt werden, tritt aber auch ein durch die Wirkung verschiedener Enzyme, namentlich eines in der Hefe enthaltenen Enzyms, des Invertins. In beiden Fällen zerfällt der Rohrzucker unter Wasseraufnahme in gleiche Teile Glykose und Fruktose:

$$\underset{\text{Rohrzucker}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O = \underset{\text{Glykose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fruktose}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Untersucht man die Zuckerlösung vor und nach der Inversion polarimetrisch, so findet man einen Umschlag der Drehung: die Rohrzuckerlösung dreht rechts, die Lösung des Gemisches gleicher Teile Glykose und Fruktose links. Man hat deshalb den durch Säurewirkung veränderten, entgegengesetzt („umgekehrt") drehenden Rohrzucker, ehe seine wahre Zusammensetzung bekannt war, als Invertzucker bezeichnet. Wir wissen aber jetzt, dass der Invertzucker kein chemisches Individuum, sondern eine Mischung zweier Hexosen ist. Seine Lösung dreht links, weil das spezifische Drehungsvermögen der linksdrehenden Fruktose größer ist als das der rechtsdrehenden Glykose, so dass in einer Mischung gleicher Teile beider Hexosen die linksdrehende Wirkung des Fruchtzuckers überwiegt.

Der Milchzucker, Laktose, findet sich ziemlich reichlich in der Milch der Säugetiere. Er ist ein in Wasser leicht löslicher, schwach süß schmeckender, krystallisierender Doppelzucker. Seine Krystalle enthalten eine Molekel Krystallwasser, entsprechen also der Formel $C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O$. Er dreht rechts. Auf Metallsalzlösungen wirkt er reduzierend wie die einfachen Zucker. Mit Phenylhydrazin liefert er das charakteristische Phenyllaktosazon. Durch Hefe wird er nicht in Gärung versetzt, dagegen erleidet er leicht die Milchsäuregärung (*Bacillus acidi lactici* u. a.). Verdünnte Säuren spalten ihn in seine Komponenten, in Glykose und Galaktose:

$$\underset{\text{Milchzucker}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O = \underset{\text{Glykose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Galaktose}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Der Malzzucker oder die Maltose findet sich in nennenswerter Menge fertig vorgebildet allem Anschein nach nicht in den Pflanzen oder im Tierkörper. Maltose entsteht stets aus Stärke unter der Einwirkung der sog. diastatischen d. h. verzuckernden pflanzlichen und tierischen Enzyme, so besonders bei der Bereitung von Bierwürze und Branntweinmaischen durch die Einwirkung von Malzdiastase auf Gerste, Kartoffeln und andere stärkereiche Früchte, ferner im Tierkörper bei der Verdauung der Stärke (vgl. Kap. 11 § 17 und Kap. 17). Als Zwischenprodukt bildet sie sich bei der hydrolytischen Spaltung von Stärke mittels verdünnter Schwefelsäure. Die Maltose löst sich leicht in Wasser.

Krystallisiert enthält sie eine Molekel Krystallwasser, hat also wie die Laktose die Zusammensetzung $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$. Ihr Verhalten gegenüber den Zuckerreagentien stimmt nahezu mit dem des Traubenzuckers überein; sie ist deshalb mit diesem oft verwechselt worden, zumal da sie bei der Aufspaltung in ihre Komponenten nur Glykose liefert:

$$\underset{\text{Maltose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O = \underset{\text{Glykose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Glykose}}{C_6H_{12}O_6}$$

Die Maltose dreht stärker nach rechts als die Glykose. Mit Phenylhydrazin verbindet sie sich zu Phenylmaltosazon. Von Hefe wird sie direkt vergärt.

8. Polysaccharide.

8. Die dritte Gruppe der Kohlenhydrate, die der *Polysaccharide*, umfasst außer einigen zuckerähnlichen, krystallisationsfähigen Körpern folgende Substanzen: pflanzliche Stärke, tierische Stärke, die Dextrine, Cellulose und die Gummi- und Pektinstoffe. Sehen wir von der Raffinose, einer in den Baumwollensamen vorkommenden krystallisierenden Hexotriose $C_{18}H_{32}O_{16} + 5\,H_2O$, von dem Laktosin, einer aus gewissen Caryophyllaceen dargestellten Hexohexose $C_{36}H_{62}O_{31}$, und einigen anderen seltenen Pflanzenzuckern ab, so können wir die Polysaccharide folgendermaßen charakterisieren. Es sind nicht krystallisierende, nicht süß schmeckende, teils in Wasser lösliche, teils quellbare, teils wasserunlösliche Körper von der empirischen Zusammensetzung $(C_6H_{10}O_5)_m \pm nH_2O$. Physikalisch unterscheiden sie sich von den krystalloiden, leicht diffundierenden Zuckern dadurch, dass sie im allgemeinen nur schwer oder überhaupt nicht diffundieren. Sie sind Kolloidkörper; man hat sie deshalb auch als Saccharokolloide bezeichnet. Auf alkalische Metallsalzlösungen wirken sie nicht reduzierend; ebensowenig verbinden sie sich mit Phenylhydrazin. Durch Hydrolyse mittels verdünnter Säuren werden sie fast alle in einfache Zucker, die Gummi- und Pektinstoffe z. T. auch in Pentosen umgewandelt.

Die Stärkearten oder Amylosen sind im Pflanzenreich außerordentlich verbreitet. Als Produkt der synthetischen Thätigkeit chlorophyllhaltiger Zellen findet sich die Stärke in den Pflanzen überall da, wo Chlorophyll vorkommt, während sie bei den chlorophyllfreien Pflanzen (sämtlichen Pilzen, auch einigen Algen) in der Regel fehlt. (Vgl. Kap. 16). In denjenigen Gebilden, die die Reservestoffe für eine neue Generation oder für eine spätere Vegetationsperiode aufspeichern, in den Samen, Wurzeln, Knollen, wird sie oft in beträchtlicher Menge abgelagert. Diese Gebilde sind das Material für die Gewinnung der Stärke.

In den Reservestoffbehältern ist die Stärke in Gestalt der sog. Stärkekörner abgelagert. Es sind dies kleine rundliche, elliptische,

ovale oder polygonale Körner, deren Größe bei einer und derselben Stärkeart innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankt. Ihre Gestalt und Zeichnung ist bei verschiedenen Pflanzen sehr verschieden, für jede aber so konstant und charakteristisch, dass die Herkunft der verschiedenen Stärkearten durch mikroskopische Prüfung festgestellt werden kann. Oft zeigen die Körnchen eine konzentrische Schichtung um einen Kern, bisweilen auch um mehrere Kerne, wie die Kartoffel- und Sagostärke in Fig. 31, bei anderen Arten begegnen wir einer scheinbar wohl ausgebildeten stereometrischen Form, wie bei der Reisstärke.

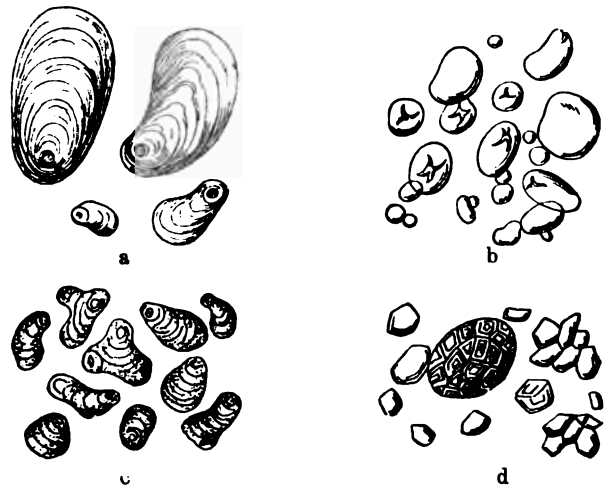


Fig. 31.
Stärkekörner, a von Kartoffeln, b von Roggen, c von Sago, d von Reis.

Man ist in solchen Fällen geneigt, eine Krystallstruktur vorauszusetzen, um so mehr, als die Stärkekörner doppelbrechend sind. Indess krystallisiert die Stärke niemals. Die eckigen Formen entstehen durch Druck der einzelnen Körner aufeinander. Nach ihrem Verhalten gegen gewisse Lösungsmittel unterscheidet man an den Stärkekörnern eine äußere Schicht oder Hüllschicht, die aus celluloseähnlicher Substanz, der sog. Stärkecellulose oder Farinose, besteht, und einen eigentlichen Stärkeinhalt, die Granulose. Man darf sich jedoch die äußere Schicht nicht als eine von dem Inhalt deutlich gesonderte, in der Zusammensetzung von ihm verschiedene Membran vorstellen. Die Hülle ist durch Übergangsschichten mit der Granulose verbunden, und ihre Substanz weicht allem Anschein nach nur durch größere Dichtigkeit und geringeren Wassergehalt von der Granulose ab.

In heißem Wasser quellen die Stärkekörner stark auf, ihre Hülle platzt, und der gequollene Inhalt bildet eine klebrige Gallerte oder, bei

Gegenwart von viel Wasser, eine trübe, schwer filtrierende und nicht diffundierende Flüssigkeit, den Stärkekleister. Filtrierter Stärkekleister dreht rechts. Durch anhaltendes Kochen oder durch Behandlung mit gewissen Agentien entsteht aus ihm lösliche Stärke. Die Zuckerproben fallen bei Stärkekleister und löslicher Stärke negativ aus, auch der Hefegärung unterliegt die Stärke nicht, dagegen giebt sie eine sehr empfindliche und für ihren Nachweis vortreffliche geeignete Reaktion mit Jod. Stärkekörner sowohl wie Kleister und lösliche Stärke werden von Jod (Jod in Jodkalium gelöst = LUGOL'sche Lösung) tiefblau bis violett gefärbt unter Bildung von blauer Jodstärke.[1])

Alle Stärkearten lassen sich durch Kochen mit Säuren oder durch diastatische Enzyme in Zucker überführen. Diesen Verzuckerungsprozess, dem in chemisch-technischer wie in physiologischer Beziehung die allergrößte Bedeutung zukommt, fassen wir als eine stufenweise vor sich gehende hydrolytische Spaltung auf. Es entstehen dabei zuerst lösliche Stärke, dann eine Reihe von Dextrinen, dann Maltose, schließlich Traubenzucker. Dass bei der Verzuckerung durch die physiologisch wichtigen tierischen und pflanzlichen Enzyme vorwiegend Maltose, nicht Traubenzucker, gebildet wird, haben wir schon hervorgehoben.

Die tierische Stärke, das Glykogen oder die Leberstärke, eine zuerst von CLAUDE BERNARD und fast gleichzeitig von HENSEN in den Lebern der Wirbeltiere aufgefundene Amylose, entspricht wahrscheinlich der Formel $(C_6H_{10}O_5)_6 + H_2O$. Glykogen findet sich besonders reichlich in der Leber gut genährter Tiere und kann in den Leberzellen, in denen es in Gestalt amorpher Körnchen oder Schollen abgelagert wird, direkt nachgewiesen werden; es kommt aber auch im Muskel und in anderen Geweben, im Blut und in anderen Körperflüssigkeiten vor, ja es scheint ganz allgemein in dem Protoplasma aller entwickelungsfähigen tierischen Zellen vorhanden zu sein. Beträchtliche Mengen von Glykogen lassen sich aus manchen Mollusken gewinnen. So enthält z. B. die Auster bis zu 10% ihrer Trockensubstanz an Glykogen; bei anderen Weichtieren ist sogar ein noch höherer Gehalt beobachtet worden. Auch im Pflanzenreich hat man die tierische Stärke angetroffen, so in Schimmel- und Schleimpilzen, in der Trüffel und in der Hefe. Ihrer

[1]) Die blaue Jodstärke gewährt ein gutes Beispiel der Dissoziation von Verbindungen durch Temperaturerhöhung. Erwärmt man Wasser, in welchem sich blaue Jodstärke befindet, so wird die Verbindung getrennt; die blaue Farbe verschwindet. Beim Abkühlen vereinigen sich Jod und Stärke wieder; die Blaufärbung kehrt wieder. Man kann den Versuch mehrmals mit gleichem Erfolg wiederholen. Schließlich wird aber die Blaufärbung immer schwächer und bleibt zuletzt ganz aus, weil sich das Jod beim Erwärmen nach und nach verflüchtigt.

physiologischen Bedeutung nach ist die Leberstärke ein Reservestoff, der bei Überernährung aufgespeichert und in Zeiten ungenügender Nahrungszufuhr zur Deckung des Bedarfs herangezogen wird; bei fortgesetztem Hungern schwindet sie fast vollständig.

In trockenem Zustand ist das Glykogen ein weißes, gleich den pflanzlichen Stärken geschmackloses Pulver. Im Wasser löst es sich zu einer opalisierenden Flüssigkeit, die stark rechts dreht. Mit Jod färbt es sich weinrot bis rotbraun. Durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure wird es in Traubenzucker, durch diastatische Enzyme in Maltose übergeführt. Den lebenden Leberzellen ist die Fähigkeit eigen, das in ihnen aufgespeicherte Glykogen in Traubenzucker umzuwandeln.

9. Die Dextrine sind, wie wir schon erwähnt haben, Zwischenstufen zwischen Stärke und Zucker. Als man im Anfang dieses Jahrhunderts die Saccharifikation der Stärke durch verdünnte Schwefelsäure entdeckte, fand man auch, dass dabei zuerst ein dem Gummi arabicum ähnlicher Körper gebildet werde. Dieser Körper, trocken ein weißes amorphes Pulver, das sich in Wasser zu einem klaren, fadenziehenden, klebenden Schleim auflöst, erhielt später, da er sich als rechtsdrehend erwies, den Namen Dextrin. Dieses Dextrin ist jedoch keine einheitliche Verbindung, sondern eine Mischung von wechselnder Zusammensetzung, wie sich durch die Jodreaktion feststellen lässt. Zuerst wird bei dem Verzuckerungsprozess lösliche Stärke gebildet; sie färbt sich mit Jod blau bis violett. Dann folgt Amylodextrin, von der löslichen Stärke nicht immer sicher zu trennen und in einzelnen Fällen mit ihr identisch, weshalb beide Bezeichnungen hie und da als gleichbedeutend gebraucht werden; seine Lösung färbt sich mit Jod violett. Geht die spaltende Wirkung der Säure weiter, so entsteht Erythrodextrin, das durch Jod rot gefärbt wird; es ist der Hauptbestandteil des als Klebstoff viel gebrauchten käuflichen Dextrins. Endlich treten als Vorstufen der Maltose das Achroodextrin und das Maltodextrin auf, die beide, wie Zucker, keine Farbenreaktion mit Jod mehr geben. Entsprechend der fortschreitenden Spaltung der Stärkemolekel wird die spezifische Drehung in der Reihe dieser Produkte immer kleiner. 9. Hydrolyse der Stärkearten.

Reine Dextrine wirken nicht reduzierend auf Metallsalzlösungen und werden von Hefe nicht vergärt. Sie sind in geringem Grade diffusibel. Ob Dextrin, wie behauptet wird, im Muskel und im Blut vorkommt, erscheint zweifelhaft; ziemlich reich daran sind Bier und Brot.

Die Cellulose ist im Pflanzenreich ganz allgemein verbreitet. Sie bildet die organische Grundsubstanz der Zellhaut oder Membran aller Pflanzenzellen. Bei jungen Zellen ist die Membran dünn und elastisch. Später verdickt sie sich und erleidet in der Regel gewisse, als Verholzung oder Verkorkung bezeichnete Veränderungen, die die Resistenz der Cellulose gegen chemische Einwirkungen

erhöhen. Auch im Tierreich kommt die Cellulose vor, so in dem Mantel der Tunicaten und in den Chitinpanzern der Insekten. Eine sehr reine Modifikation von Cellulose bieten gewisse Gespinnstfasern pflanzlichen Ursprungs dar, wie die Baumwolle, die Leinen- und Hanffaser u. ä. Sie lassen bei mikroskopischer Betrachtung eine bestimmte Struktur der Cellulose erkennen, die so charakteristisch und zugleich so unzerstörbar ist, dass sie das sicherste Erkennungs- und Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Faserarten darstellt.

Von allen Polysacchariden verhält sich Cellulose (reine Baumwolle, schwedisches Filtrierpapier) gegen chemische Agentien am meisten indifferent. Von Wasser, von kalten und heißen verdünnten Säuren und Basen wird sie nicht angegriffen. Nur von SCHWEIZER's Reagens, einer ammoniakalischen Lösung von Kupferhydroxyd, wird sie, ohne chemisch verändert zu werden, gelöst. In kalter konz. Schwefelsäure löst sie sich zu einer zähen Flüssigkeit auf; verdünnt man diese Lösung nach kurzer Zeit, so scheidet sich eine gallertige Masse aus, das sog. Amyloid, das sich mit Jod blau färbt; lässt man aber die Lösung längere Zeit stehen oder erwärmt man sie, so tritt hydrolytische Spaltung bis zum Dextrin und zum Traubenzucker ein. Man kann daher aus Holzcellulose, am besten aus Sägespänen, Zucker (Glykose) und weiter aus diesem Alkohol darstellen. Die Amyloidreaktion dient gewöhnlich zum Nachweis der Cellulose. Man benetzt das zu untersuchende Objekt, das natürlich stärkefrei sein muss, z. B. einen Mikrotomschnitt, mit Jodlösung: keine Reaktion, da Cellulose selbst keine Färbung mit Jod giebt; nunmehr betupft man mit konzentrierter Schwefelsäure: tritt Bläuung ein, so liegt Cellulose vor.[1])

Cellulose hat wie Stärke die empirische Zusammensetzung $(C_6H_{10}O_5)n$.

Wie groß n ist, wissen wir nicht; es kann aber nicht zweifelhaft sein, dass es bei der Cellulosemolekel größer ist als bei der Stärkemolekel. Denn nach den Beobachtungen an Stärkekörnern und Zellmembranen erscheint die Cellulose als ein durch Synthese aus der Stärke hervorgegangenes Produkt, und umgekehrt beweist die Einwirkung der Schwefelsäure auf Baumwolle, dass durch Spaltung der Cellulose Stärke (Amyloid) entsteht. Wäre also die Stärkeformel $(C_6H_{10}O_5)_{30}$, wofür manches spricht, so könnte die Cellulose gleich $(C_6H_{10}O_5)_{30}$ angenommen werden.

Die diastatischen Enzyme sind auf Baumwolle und Filtrierpapier ohne Wirkung. Dass sie die zarten Membranen junger Pflanzenzellen zu verzuckern imstande sind, ist direkt noch nicht nachgewiesen, wird

[1]) Dieses Amyloid ist nicht zu verwechseln mit einem in pathologischen Fällen bei Säugetieren (Amyloidentartung) auftretenden und wegen seiner ähnlichen Reaktionen gleichfalls Amyloid genannten Stoff, welcher stickstoffhaltig ist und zu den Albuminoiden gerechnet wird.

aber durch Erfahrungen auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie wahrscheinlich gemacht.

Die Gummiarten und Pektinstoffe sind Polysaccharide des Pflanzenreichs. Im Tierkörper kommen sie sehr selten vor. Die Gummiarten und die ihnen nahe verwandten Pflanzenschleime haben im allgemeinen die Formel $(C_6H_{10}O_5)_n$, doch ist in manchen Fällen die empirische Zusammensetzung noch nicht sicher festgestellt. In Wasser lösen sie sich zu einer zähen, meist schwer filtrierenden Flüssigkeit, oder sie quellen darin auf. Direkt wirken sie auf Metallsalzlösungen nicht reduzierend; werden sie jedoch durch Kochen mit verdünnten Säuren hydrolysiert, so zeigen sie ein Reduktionsvermögen wie die einfachen Zucker. Unter den Produkten, die aus ihnen bei der Verzuckerung entstehen, ist Galaktose und Arabinose, die Aldehydpentose $(C_5H_{10}O_5)$, aufgefunden worden.

Das bekannteste Gummi ist Gummi arabicum, der eingetrocknete Saft gewisser afrikanischer und arabischer Acaciaarten. Ferner gehört hierher das Kirschgummi der Kirschen- und Pflaumenbäume und das von verschiedenen Astragalusarten abgesonderte Gummi Tragacantha oder Traganthgummi.

Von den Pflanzenschleimen erwähnen wir den Leinsamenschleim und den Quittenschleim.

Mit den Namen Pektinstoffe bezeichnet man die teils wasserlöslichen, teils unlöslichen gallertbildenden Substanzen, die aus dem Saft reifer süßer Früchte (Birnen, Äpfel), fleischiger Wurzeln (Möhren, Runkelrüben), auch aus Baumrinden gewonnen werden können. Ihre Zusammensetzung ist noch nicht genügend aufgeklärt. Nach den vorliegenden Analysen stimmt sie durchaus nicht immer mit der allgemeinsten Kohlenhydratformel $(CH_2O)_m \pm nH_2O$ überein. Wenn wir trotzdem die Pektinstoffe zu den Kohlenhydraten rechnen, so stützen wir uns darauf, dass bei einer echten Pektinsubstanz, der Metapektinsäure $C_{12}H_{22}O_{11}$, der Übergang in Arabinose sicher nachgewiesen worden ist.

10. Während die Kohlenhydrate in den Tierkörpern zwar niemals ganz fehlen, aber immer nur einen bescheidenen Anteil der ganzen Körpermasse ausmachen, in den Pflanzen dagegen reichlich gefunden werden, ist das Verhältnis bei den Fetten gerade das umgekehrte. Das ist um so auffälliger, als die pflanzenfressenden Tiere stets große Mengen von Kohlenhydraten mit der Nahrung aufnehmen. Reich an Fett sind nur wenige Pflanzen, welche deshalb auch als Quellen der Fettgewinnung ausgenutzt werden. Olivenöl, Baumwollensamen-, Raps-, Mohn- und Leinsamenöl, Palmöl, Kakaobutter sind bekannte pflanzliche Fette. Wo reichliches Fett bei Pflanzen vorkommt, dient es, wie die Kohlenhydrate, als Reserve- 10. Fette, Vorkommen und Eigenschaften.

stoff. Viel allgemeiner ist aber die Ansammlung größerer Fettmassen bei Tieren aller Klassen, bei denen es nach reichlicher Ernährung als sogenanntes Fettgewebe in Gestalt von fetthaltigen, in das Bindegewebe eingelagerten Zellen unter Umständen einen großen Bruchteil des gesamten Körpergewichts ausmachen kann.

Die pflanzlichen und tierischen Fette sind in reinem Zustande flüssige (Öl), festweiche (Butter, Menschenfett) oder feste (Talg), geschmack- und geruchlose, ungefärbte oder schwach gelbliche Körper. Sie sind leichter als Wasser. Die festen Fette schmelzen schon bei mäßigem Erwärmen und verhalten sich in geschmolzenem Zustande wie die Öle. In Wasser lösen sich die Fette nicht, wohl aber in heißem starken Alkohol. Aus der erkaltenden alkoholischen Lösung scheiden sie sich zum größten Teil wieder aus, die krystallisationsfähigen meist in Gestalt von Krystallaggregaten. Am leichtesten werden sie von Äther, Petroläther, Benzol, Chloroform und Schwefelkohlenstoff gelöst.

Diese Lösungsmittel kommen daher auch zur Anwendung, wenn der Fettgehalt eines pflanzlichen oder tierischen Gewebes, eines Nahrungsmittels oder sonst einer fetthaltigen Masse bestimmt werden soll. Die Substanz wird, wenn es möglich ist, zunächst — durch Erhitzen in einem Trockenschrank — völlig getrocknet; dann wird sie gepulvert und als lockeres Pulver in einem geeigneten Fettextraktionsapparat so lange einem beständig sie durchrieselnden Strom von Äther unterworfen, bis das Fett vollkommen ausgezogen ist. Lässt man nun aus dem Extrakt das Lösungsmittel verdunsten, so hinterbleibt das Fett als Rückstand. Aus einer fetthaltigen wässerigen Flüssigkeit kann das Fett abgeschieden werden, indem man die Flüssigkeit mit Äther gründlich durchschüttelt: lässt man dann das Schüttelgefäß ruhig stehen, so bilden sich meist zwei scharf abgegrenzte Schichten, eine obere, ätherische und eine untere, wässerige Schicht; in der Ätherschicht, deren Abtrennung weiter keine Schwierigkeiten bereitet, findet sich das Fett.

Wegen ihres hohen Kohlenstoffgehalts sind die Fette gut brennbar. Sie brennen mit leuchtender und stark rußender Flamme. Erhitzt man sie, ohne sie anzuzünden, auf sehr hohe Temperatur, so zersetzen sie sich unter Bildung von Akroleïn, das sich durch stechenden Geruch und stark reizende Wirkung auf die Schleimhäute auszeichnet (Geruch nach verbranntem Fett).

11. Fettemulsionen.

11. Wird ein flüssiges oder geschmolzenes Fett in einem geschlossenen Gefäß kräftig mit Wasser durchgeschüttelt, so zerstiebt es in sehr kleine Tröpfchen, die für kurze Zeit voneinander getrennt in der Flüssigkeit suspendiert bleiben. Hält man mit dem Schütteln inne, so beginnen die Tröpfchen in der ruhenden Wassersäule alsbald nach oben zu steigen, und schon nach wenigen Minuten befindet sich das ganze Fett in zu-

sammenhängender Schicht wieder an der Oberfläche des Wassers. Ganz anders, wenn man das Fett mit einer Gummiarabicum-Lösung schüttelt. In diesem Fall verteilt es sich so gleichmäßig und so fein über die ganze Flüssigkeit, dass diese ein milchartiges Aussehen annimmt, und dass die Tröpfchen mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen sind. Sie bleiben auch in der ruhenden Flüssigkeit lange suspendiert, und wenn sie im Verlauf von Stunden allmählich in die Höhe steigen, so fließen sie nicht zusammen, sondern legen sich nur aneinander. Eine solche Flüssigkeit, die ein Fett in äußerst feiner Verteilung in Gestalt von nur noch mikroskopisch erkennbaren Tröpfchen suspendiert enthält, nennt man eine Fettemulsion. Die Fähigkeit, Fett zu emulgieren, ist im allgemeinen den zähflüssigen Scheinlösungen der kolloiden Kohlenhydrate, Eiweißkörper, Leim- und Schleimstoffe eigen. Vortrefflich emulgierend wirken auch Seifenlösungen. Daraus erklärt sich, warum beim Schütteln eines natürlichen Fettes mit Laugen oder mit Sodalösung haltbare Emulsionen entstehen: durch das Alkali wird zunächst die in dem Fett vorhandene freie Fettsäure (siehe weiter unten die Zusammensetzung der Fette) in fettsaures Salz umgewandelt, ein Teil des Fettes wird verseift, und durch die gebildete Seife wird dann die ganze Fettmenge emulgiert. Sehr günstig für die Emulgierung der Fette liegen die Verhältnisse im Darm der höheren Tiere, wo die schleimstoff- und alkaliführende Galle und das alkalireiche, fettspaltende Sekret der Bauchspeicheldrüse einander in ihrer Wirkung auf das Fett der Nahrung unterstützen.

Natürliche Fettemulsionen sind die Milch, der Eidotter und die weißen, gelben und roten Milchsäfte vieler Pflanzen, die freilich neben Fett auch fein verteilten Kautschuk und Harze enthalten (*Chelidonium*, *Euphorbia*, *Papaver somniferum*; der eingedickte Milchsaft des letzteren ist das Opium).

12. Konstitution der Fette.

12. Ihrer Konstitution nach sind die in den Tieren und Pflanzen vorkommenden Neutralfette oder Fette schlechtweg Ester der höheren Fettsäuren. Wie wir im vorigen Kapitel (§ 12) ausgeführt haben, geht ein Säureester aus der Vereinigung von Säure und Alkohol unter Wasserabspaltung hervor:

$$CH_3COOH + C_2H_5OH = CH_3CO \cdot O \cdot C_2H_5 + H_2O.$$

Essigsäureäthylester

Der Essigsäureäthylester besteht also aus einem Säure- und einem Alkoholrest, die durch Sauerstoff miteinander verbunden sind. Bei den meisten Fetten ist der eine Bestandteil der dreiwertige Rest des Alkohols Glyzerin $CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH_2(OH)$, die Glyzerylgruppe $C_3H_5{\equiv}$; den anderen bilden drei Reste einer einbasischen höheren Fettsäure. Wählen wir als Beispiel die aus Glyzerin und Stearinsäure $C_{18}H_{36}O_2$ hervorgehende Verbindung, so ist die Konstitution des neutralen Stearinsäureglyzerylesters durch die Formel

$$C_3H_5\begin{cases}-O\cdot C_{18}H_{35}O\\-O\cdot C_{18}H_{35}O\\-O\cdot C_{18}H_{35}O\end{cases}$$

oder kürzer durch $C_3H_5(C_{18}H_{35}O_2)_3$ auszudrücken. Man nennt diesen Ester auch neutrales Stearinsäureglyzerid oder mit Rücksicht darauf, dass er drei Stearinsäurereste enthält, Tristearin.

Ersetzen wir in der Formel des Tristearins den Rest der Stearinsäure der Reihe nach durch den Rest der Palmitinsäure $C_{16}H_{32}O_2$, Ölsäure $C_{18}H_{34}O_2$, Caprylsäure $C_8H_{16}O_2$, Capronsäure $C_6H_{12}O_2$, Buttersäure $C_4H_8O_2$, so erhalten wir die Formeln der Glyzerinester dieser Säuren, d. h. die Formeln der Fette

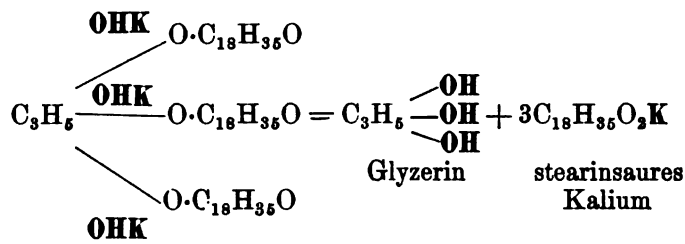
Tripalmitin $C_3H_5(C_{16}H_{31}O_2)_3$
Trioleïn $C_3H_5(C_{18}H_{33}O_2)_3$
Tricaprylin $C_3H_5(C_8H_{15}O_2)_3$
Tricapronin $C_3H_5(C_6H_{11}O_2)_3$
Tributyrin $C_3H_5(C_4H_7O_2)_3$

Die natürlichen pflanzlichen und tierischen Fette sind in der Regel Gemische von Tristearin, Tripalmitin und Trioleïn. Zu diesen dreien treten in einzelnen Fällen noch andere Glyzeride hinzu, so im Milchfett (Butter) noch Tricaprylin, Tributyrin und Tricapronin. Die Konsistenz der Fette hängt von dem Mischungsverhältnis ab. Je mehr die starren Glyzeride Tristearin und Tripalmitin überwiegen, um so fester ist das Fett (Hammeltalg, Rindertalg); je mehr das flüssige Trioleïn vorherrscht, um so mehr gewinnt das Fett den Charakter eines Öles (Menschenfett mit etwa 60 % Triolein festweich bis halbflüssig, Olivenöl mit über 70 % Trioleïn flüssig). Neben den Glyzeriden enthalten die natürlichen Fette meist noch geringe Mengen freier Säuren, und zwar derjenigen Fettsäuren, die verestert in den Glyzeriden vorhanden sind.

Eine besondere Stellung unter den Fetten nehmen die Wachsarten, das Wallrath und das Wollfett ein. In ihnen treten außer den erwähnten Glyzeriden noch einige ganz andere Fettsäureester auf. So sind enthalten im Bienenwachs Cerotinsäure $C_{27}H_{54}O_2$ und der Palmitinsäureester des Myricylalkohols $C_{30}H_{61}(OH)$; im chinesischen Wachs höhere Ester der Cerotinsäure; im Wallrath, dem in den Schädelknochen des Pottwals vorkommenden Fett, hauptsächlich der Palmitinsäureester des Cetylalkohols $C_{16}H_{33}(OH)$. Das Wollfett aber, wie überhaupt die von der tierischen Haut abgesonderten und den Hautgebilden (Wolle, Haare, Federn, Stacheln, Hufe) anhaftenden Fette zeichnen sich aus durch ihren Gehalt an Estern des Cholesterins, des ungesättigten Alkohols $C_{27}H_{45}(OH)$, den wir bereits kennen gelernt haben (siehe Kap. 9, § 13). Ein aus dem Wollschweiß gewonnenes, an Cholesterinestern reiches Präparat ist das Lanolin; es findet als Salbengrundlage ausgedehnte Verwendung.

Vor den Glyzeriden haben die Cholesterinfette eine größere Resistenz gegen chemische Agentien, besonders gegen fettspaltende Mittel, voraus; sie sind daher als Schutzstoffe für die Haut und die Hautgebilde viel geeigneter als die gewöhnlichen Fette.

13. Gleich den Doppelzuckern und den Polysacchariden erleiden die Fette durch Behandlung mit überhitztem Wasserdampf und durch Kochen mit verdünnten Säuren eine hydrolytische Spaltung. Sie zerfallen dabei unter Wasseraufnahme in ihre Komponenten, in Fettsäure und Glyzerin bezw. in Fettsäure und einen anderen höheren Alkohol. Glatter noch als durch Wasserdampf und Säuren wird diese Hydrolyse bewirkt durch Kochen mit Alkalilaugen, durch alkoholische Kalilauge, am besten durch Alkalialkoholat. Dabei entsteht dann natürlich nicht freie Fettsäure, sondern fettsaures Kalium oder Natrium d. h. eine Seife. Aus diesem Grunde bezeichnet man die Spaltung der Fette auch als Verseifung. Der Vorgang lässt sich durch folgendes Schema veranschaulichen: 13. Verseifung.



Die Alkalisalze der Fettsäuren, die gewöhnlichen Seifen, sind in Wasser löslich, die Erdalkalisalze dagegen unlöslich.

Die Bezeichnung „Verseifung" sollte ursprünglich nur gelten für diejenige Spaltung eines Fettes, bei der ein fettsaures Salz, eine Seife, entsteht. Man versteht jedoch gegenwärtig unter Verseifung ganz allgemein die Spaltung eines Säureesters in seine Komponenten. Auch der Essigsäureäthylester $CH_3CO{\cdot}O{\cdot}C_2H_5$ wird „verseift", wenn man ihn in Essigsäure und Äthylalkohol zerlegt.

Physiologisch bedeutungsvoll ist es, dass die Fette auch durch Enzyme verseift werden können. Fettspaltende Enzyme finden sich in manchen Pflanzen, so in Ricinus- und Leinensamen, am bekanntesten aber ist das von der Bauchspeicheldrüse der höheren Tiere gelieferte und mit dem Sekret dieser Drüse in den Darm sich ergießende Enzym Steapsin, das bei der Verdauung der Fette eine wesentliche Rolle spielt.

Bei den halbfesten und flüssigen Fetten lässt sich, wenn sie bei mittlerer Zimmertemperatur und ungehindertem Luftzutritt aufbewahrt werden, oft eine spontan eintretende Veränderung beobachten: sie nehmen saure

Reaktion an, ändern auch wohl ihre Farbe und riechen und schmecken unangenehm. Man sagt, sie werden ranzig. Dass die Butter im Sommer dieser Veränderung leicht anheim fällt, ist eine alte Erfahrung. Das Wesen dieses Vorgangs ist eine partielle Spaltung des Fettes und, hieran sich anschließend, eine weitere Zersetzung der Fettsäuren. Das Auftreten freier Säuren lässt sich durch den Geruch (Buttersäure) oder auf chemischem Wege nachweisen. Wodurch aber der Prozess ausgelöst wird, wissen wir nicht genau. Man hat das Ranzigwerden auf die Thätigkeit von Bakterien zurückführen wollen, sichere Beweise für diese Annahme sind aber noch nicht erbracht worden.

14. Proteinstoffe.

14. In der Einleitung zu diesem Kapitel ist die Stellung der Proteinstoffe gegenüber den Kohlenhydraten und Fetten bereits gekennzeichnet worden. Wir wenden uns jetzt der speziellen Besprechung dieser physiologisch wichtigsten Stoffe zu.

Unter Proteinstoffen versteht man gewisse in allen tierischen und pflanzlichen Geweben vorkommende stickstoffhaltige organische Stoffe, die der Masse und Bedeutung nach das hauptsächlichste Baumaterial aller lebenden Substanz ausmachen und an deren Gegenwart alle Lebenserscheinungen gebunden sind. So vielfach man auch die Proteinstoffe chemisch untersucht hat, so sind wir doch bis jetzt noch nicht imstande, sie unzweideutig zu definieren und ein wissenschaftlich gut begründetes System derselben aufzustellen. Die Hauptschwierigkeit besteht darin, dass es — von ganz wenigen Fällen abgesehen — bis jetzt nicht gelungen ist, die einzelnen Proteinstoffe in krystallisiertem Zustande darzustellen. Schon allein die Entfernung der sie begleitenden Mineralstoffe, wie Natrium, Kalium, Calcium, bereitet oft unüberwindliche Schwierigkeiten. Trotzdem hat man mehrfach versucht, das Molekulargewicht[1]) einzelner Proteinstoffe zu ermitteln. Die dabei erhaltenen Werte schwanken so sehr, dass man nicht daran denken kann, die Zusammensetzung durch eine empirische Formel auszudrücken; aber sie lassen doch so viel mit Sicherheit erkennen, dass das Molekulargewicht der Proteinstoffe sehr groß sein muss (8000—15000), dass wir es also bei ihnen mit sehr kompliziert gebauten Molekeln zu thun haben.

Es wäre natürlich für die Physiologie vom höchsten Wert, die wahre Beschaffenheit dieser Stoffe in der Gestalt, in der sie in der

[1]) Da die Proteinstoffe überhaupt nicht vergast werden können und im allgemeinen auch die Temperatur des siedenden Wassers nicht ertragen, ohne Veränderungen zu erleiden, so ist die Zahl der bei ihnen anwendbaren Methoden der Molekulargewichtsbestimmung von vornherein beschränkt. Sieht man von der Verwertung von Gewichtsanalysen der Proteinstoffe selbst und ihrer Verbindungen ab, so kommt nur die Bestimmung der molekularen Gefrierpunktserniedrigung in Frage (vgl. Kap. 8, § 14).

lebenden Substanz vorkommen, zu kennen. Aber leider sind sie dort der chemischen Prüfung nicht zugänglich, weil sie selbst gegen schwache physikalische und chemische Einwirkungen sehr empfindlich sind. Schon bei mäßiger Erwärmung, bei der Behandlung mit Wasser, Salzlösungen oder Alkohol erleiden sie leicht Veränderungen, durch welche sie sich mehr oder weniger von ihrem ursprünglichen Zustand entfernen. Was wir untersuchen, sind also nicht die natürlichen Proteinstoffe. Durch die unumgänglichen vorbereitenden Operationen, durch welche wir die Bestandteile der lebenden Substanz zu isolieren versuchen, entstehen Modifikationen der ursprünglich vorhandenen Stoffe, gewissermaßen stabilere Formen derselben. Auf diese stützt sich unsere Kenntnis von den Eigenschaften und Reaktionen dieser Klasse von Stoffen. Von den labileren Formen der Proteinstoffe, wie sie in frischen lebenden Geweben vorkommen, können wir im allgemeinen nur so viel sagen, dass sie eine größere Reaktionsfähigkeit als die stabileren besitzen müssen. Dagegen sind wir außer stande, dieser Reaktionsfähigkeit durch ein Formelbild eine, wenn auch nur hypothetische, Deutung zu geben.

Die Proteinstoffe enthalten ohne Ausnahme Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, dazu kommt bei vielen Schwefel, bei manchen Phosphor, bei einigen wenigen Eisen, bei einem einzigen Jod. In ihrer Asche finden wir daher vielfach Schwefelsäure, manchmal Phosphorsäure, seltener Eisenoxyd, in einem Fall Jodalkali. Ihr Stickstoffgehalt lässt sich in der Regel schon daran erkennen, dass sie beim Verbrennen in der Flamme den bekannten Geruch nach verbranntem Horn und versengten Federn verbreiten. Zuverlässiger ist die Stickstoffprobe von Lassaigne, die darauf beruht, dass ein N-haltiger organischer Körper, wenn er trocken mit metallischem Natrium erhitzt wird, Cyannatrium liefert, welches Cyanmetall durch Eisenvitriol + Eisenchlorid + Salzsäure leicht nachgewiesen werden kann (Bildung von Berliner Blau).

In trockenem Zustande verändern sich die Proteinstoffe nicht. Bei Gegenwart von Wasser aber sind sie in hohem Grade dem Verderben ausgesetzt. Sie lassen sich nur dadurch vor Zersetzung schützen, dass man sie sterilisiert, d. h. durch Erhitzen oder durch chemische Agentien von den ihnen etwa anhaftenden lebensfähigen Mikroorganismen befreit und sie auch ferner vor der Berührung mit Kleinlebewesen sorgfältig bewahrt. Bleiben sie ohne diese Vorsichtsmaßregeln sich selbst überlassen, so gehen sie durch die Lebensthätigkeit der auf ihnen wuchernden Mikroorganismen in Fäulnis über. Sie werden dabei allmählich völlig zerstört. Unter den Fäulnisprodukten, deren Menge und Art mit dem Material, das der

Fäulnis verfällt, mit den Fäulniserregern und gewissen Nebenumständen wechselt, finden sich Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Indol, Skatol, aliphatische Aminbasen, Leucin, Tyrosin, Glykokoll und Fettsäuren (vgl. Kap. 16 § 11 u. Kap. 17 § 10).

15. Einteilung der Proteinstoffe. Proteine.

15. Ein sicher begründetes System der Proteinstoffe lässt sich bei der ungenügenden Kenntnis ihrer Konstitution noch nicht aufstellen. Wir können sie aber empirisch nach ihrer prozentischen Zusammensetzung, ihren Reaktionen und ihren Spaltungsprodukten in gewisse Gruppen und diese wiederum in Untergruppen einteilen.

Wir unterscheiden

I. Proteine im engeren Sinne oder Eiweißkörper,
II. Proteide,
III. Albuminoide.

I. Die Proteine oder Eiweißkörper. Sie sind die wichtigsten aller Proteinstoffe; vornehmlich aus ihnen baut sich die lebende Substanz auf. Sie enthalten stets Schwefel, einige auch Phosphor. Ihre prozentische Zusammensetzung ist nicht konstant, schwankt aber nur innerhalb enger Grenzen. Die für sorgfältig gereinigte, d. h. von begleitenden Metallsalzen möglichst vollständig befreite Eiweißkörper gefundenen Grenzwerte sind

50	—55	% Kohlenstoff
6,5	— 7,3	% Wasserstoff
19	—24	% Sauerstoff
15	—18	% Stickstoff
0,3	— 2,4	% Schwefel
0,4	— 0,85	% Phosphor.

Von diesen Zahlen müssen wir den Stickstoffwert als besonders wichtig hervorheben; denn unter gewissen Voraussetzungen dient uns der Stickstoffgehalt beliebiger tierischer oder pflanzlicher Massen als Maß für ihren Proteingehalt. Bei Untersuchungen auf dem Gebiet des Stoffwechsels, von dem in einem späteren Kapitel die Rede sein wird, kommen Eiweißbestimmungen sehr häufig vor; wollte man jedesmal die Eiweißkörper selbst aus dem zu untersuchenden Material zur Abscheidung bringen, so würde das eine kaum zu bewältigende Arbeit erfordern; führt man aber statt dessen Stickstoffbestimmungen aus, so bietet die analytische Aufgabe keine Schwierigkeiten. Die Eiweißkörper des Fleisches haben einen Stickstoffgehalt von rund 16%, woraus folgt, dass einem Gramm Stickstoff $\frac{100}{16} = 6{,}25$ g Eiweiß entsprechen. Hat man also z. B. den Stickstoffgehalt bei einer Probe frischen Fleisches bestimmt, so braucht man diesen Wert nur mit 6,25 zu multiplizieren, um den Eiweißgehalt dieses Fleisches zu kennen.

Die Methoden der Stickstoffbestimmung, die hier in Betracht kommen, sind

1. die Methode von DUMAS. Die Substanz wird in einem Verbrennungsrohr, aus dem die atmosphärische Luft durch CO_2 verdrängt worden ist, über Kupferoxyd völlig verbrannt. Die Verbrennungsprodukte CO_2, H_2O und elementarer N werden in ein mit starker Kalilauge gefülltes Eudiometer abgeleitet. CO_2 und H_2O bleiben dabei in der Lauge zurück, das aufgefangene Gas ist der N der verbrannten Substanz. Aus seinem Volumen lässt sich der gesuchte N-gehalt leicht berechnen. — Das Verfahren ist das zuverlässigste, das wir kennen, aber so zeitraubend, dass es bei großen Untersuchungsreihen selten angewendet wird.

2. die Methode von WILL und VARRENTRAPP. Man mischt die Substanz mit Natronkalk und erhitzt die Mischung in einem Verbrennungsrohr. Dabei entweicht der N in Gestalt von NH_3. Das abströmende Gas wird in eine mit HCl beschickte Vorlage geleitet. Aus der vorgelegten Flüssigkeit, in der das NH_3 als NH_4Cl gebunden worden ist, wird durch Platinchlorid NH_4Cl als Platinsalmiak niedergeschlagen. Dieser Niederschlag hinterlässt beim Verglühen metallisches Platin, aus dessen Gewicht sich die gesuchte N-menge ergiebt.

3. die Methode von KJELDAHL. Durch Erhitzen mit konzentrierter P_2O_5-haltiger Schwefelsäure werden organische stickstoffhaltige Substanzen völlig zersetzt; aus dem N entsteht dabei NH_3, das von der Säure gebunden wird. Ist die Zersetzung vollendet, so übersättigt man die Säure mit Natronlauge, destilliert das in Freiheit gesetzte NH_3 ab, fängt es in einer mit Normalsäure beschickten Vorlage auf und bestimmt es titrimetrisch. — Das Verfahren ist in hohem Grade für physiologische Untersuchungen geeignet. Es ist bei allen stickstoffhaltigen Bestandteilen des Tier- und Pflanzenleibes, bei allen Nahrungsmitteln und bei allen Sekreten und Exkreten anwendbar. Seine Ausführung verursacht geringe Mühe und nimmt wenig Zeit in Anspruch.

Die Proteine lassen sich auf Grund der Löslichkeitsverhältnisse in folgende Untergruppen einteilen:

1. Albumine,
2. Globuline,
3. Nukleoalbumine,
4. Koagulierte Eiweißkörper,
5. Albuminate,
6. Albumosen,
7. Peptone.

Den 3 ersten Untergruppen gehört die Hauptmenge der Proteinstoffe an, die in den pflanzlichen und tierischen Geweben und Gewebssäften vorkommen. Aus diesen Säften kann man sie durch

vorsichtige Anwendung gewisser Reagentien gewinnen, ohne sie wesentlich zu verändern. Die unter möglichster Erhaltung ihrer natürlichen Eigenschaften isolierten Albumine, Globuline und Nukleoalbumine nennt man auch native oder genuine Eiweißkörper, während die aus ihnen entstehenden koagulierten Eiweißkörper, Albuminate, Albumosen und Peptone als denaturierte Eiweißkörper bezeichnet werden.

16. Untergruppen der Proteine.

1. Die Albumine lösen sich in Wasser. Diese sogenannten Eiweißlösungen sind aber keine wirklichen Lösungen; bei der Filtration durch Fließpapier gelangt nur sehr wenig vom „gelösten" Material in das Filtrat, ähnlich wie bei der Filtration von Stärke- und Gummilösungen. Wird eine neutrale, wässerige Albuminlösung bis nahe zum Sieden erhitzt, so gerinnt oder koaguliert das Albumin.

Unter der Einwirkung von Säuren und Alkalien gehen die Albumine in Albuminate, dann in Albumosen, schließlich in Peptone über.

Für die Albumine wie auch für die Mehrzahl der übrigen Proteinstoffe giebt es zahlreiche Fällungsreaktionen. Die Reagentien sind gewisse Säuren, Metallsalze, Kombinationen dieser beiden, Alkohol. Eine für den Nachweis von Eiweiß viel angewendete Kombination ist Essigsäure + Ferrocyankalium.

Als wichtigste Beispiele für die Untergruppe der Albumine sind zu nennen Serumalbumin, im Blut vorkommend, Ovalbumin, der Hauptbestandteil des Eiereiweißes, Laktalbumin, neben dem Käsestoff das wichtigste Protein der Milch.

2. Die Globuline sind fast immer die Begleiter der Albumine. Im Blut und in den tierischen Gewebsflüssigkeiten treten sie meistens an Menge hinter den Albuminen zurück, bei den Pflanzen aber überwiegen sie; auch vom Muskeleiweiß machen sie den größeren Teil aus. Sie lösen sich nicht in Wasser, wohl aber in verdünnten Lösungen neutraler Alkalisalze. Sättigung ihrer Lösungen mit Kochsalz bringt sie teilweise, Sättigung mit Magnesiumsulfat vollständig zur Abscheidung. (Auf Albumine wirken beide Salze nicht ein.) Beim Erhitzen ihrer neutralen Lösungen werden die Globuline koaguliert.

Zu den Globulinen gehören: das Serumglobulin, neben dem Serumalbumin in der Blutflüssigkeit vorkommend; das Fibrinogen, die Muttersubstanz des Blutfaserstoffs, welcher die Erscheinung der Blutgerinnung verursacht; das Globulin (Globin) der roten Blutkörperchen, das, mit dem Hämatin chemisch verbunden, den Blutfarbstoff Hämoglobin liefert, und das Myosinogen, das charakteristische Globulin der Muskelfasern. Schließlich ist, allem Anschein nach, hierher zu rechnen der jodhaltige Eiweißkörper der Schilddrüse.

3. Die Nukleoalbumine oder Kerneiweiße. Diese Eiweißkörper finden sich vorwiegend in den Formbestandteilen, aus denen sich

alle Gewebe aufbauen, den Zellen[1]), weniger in der Gewebsflüssigkeit zwischen den Zellen; bei der Zelle wiederum erweist sich der Kern als besonders reich an Nukleoalbuminen. Flüssigkeiten, welche das Material zu Grunde gegangener Zellen aufnehmen oder gar ausschließlich aus ihm hervorgehen, enthalten reichlich Kerneiweiss. Der Typus einer solchen Flüssigkeit ist die Milch, ihr Nukleoalbumin ist das Kaseïn.

Die Nukleoalbumine sind in Wasser und verdünnten Lösungen neutraler Alkalisalze unlöslich. In Alkalien lösen sie sich leicht, durch verdünnte Säuren werden sie gefällt. Dieses Verhalten berechtigt uns, den Nukleoalbuminen den Charakter einer Säure zuzuschreiben. Sie lassen sich in Albumin und das phosphorhaltige Nukleïn zerlegen. Die verschiedenen Nukleïne, die durch geeignete Reagentien aus den Nukleoalbuminen abgespalten werden können, reagieren wie ausgesprochene Säuren. Der Phosphorgehalt der Nukleine schwankt zwischen 5 und 9%, während der des Kaseïns nur 0,85% beträgt. In der Asche der Nukleine finden sich häufig neben Phosphorsäure kleine Mengen von Eisen.

4. Koagulierte Eiweißkörper. Alle genuinen Albumine und Globuline werden beim Erhitzen ihrer neutralen oder schwach sauren Lösungen koaguliert, d. h. sie scheiden sich in Gestalt mehr oder minder grober Flocken oder als zusammenhängende kompakte Masse aus. Ist die Lösung reich an Eiweiß, so wird sie ganz und gar fest.[2]) Die Temperatur, bei der die Koagulation eintritt, ist bei den einzelnen gerinnungsfähigen Proteinen verschieden. Wie Erhitzen wirkt auch ein reichlicher Zusatz von starkem Alkohol. Ferner giebt es eine Reihe von Stoffen, die nur bei bestimmten Eiweißlösungen Gerinnung hervorrufen, es sind dies die sog. Gerinnungsfermente; zu ihnen gehört das Fibrinferment, das aus Fibrinogen festen Faserstoff (Fibrin) erzeugt und dadurch die bekannte Erscheinung der Blutgerinnung hervorruft. Welcher Art die Veränderung ist, die die Eiweißmolekel bei der Koagulation erleidet, wissen wir nicht. Man hat den Vorgang als eine Wasserabspaltung aufgefasst; danach wäre koaguliertes Eiweiß = Eiweißanhydrid. Mehr als eine Vermutung ist aber diese Auffassung nicht. Das Gerinnsel oder Koagulum ist in jedem Fall denaturiertes Eiweiß. Es hat die Löslichkeit des natürlichen Eiweißes vollkommen verloren und kann durch keine Reaktion in das genuine Protein, aus dem es hervorging, zurückverwandelt werden. Säuren, Alkalien, auch die sog. Verdauungsfermente lösen die geronnenen Eiweißkörper allmählich auf, indem sie sie in Albumosen und Peptone überführen.

Zu den koagulierten Eiweißkörpern gehören das durch Hitze zur

[1]) Von den Zellen, ihrem Bau und ihrer physiologischen Bedeutung wird in einem späteren Kapitel die Rede sein.

[2]) Vgl. Kap. 7, § 6.

Erstarrung gebrachte Eiereiweiß, das Fibrin oder der Faserstoff des Blutes und das Myosin, das erstarrte Muskeleiweiß, dessen Bildung im absterbenden Muskel die Erscheinung der Totenstarre bedingt.

5. Albuminate. Durch Mineralsäuren und durch Alkalien werden Albumine und Globuline leicht denaturiert. Sie bilden sowohl mit den Säuren wie mit den Alkalien salzartige Verbindungen, von denen die einen als Acidalbumine, die anderen als Alkalialbuminate bezeichnet werden.

Zu den Acidalbuminen gehört das aus dem Fleischeiweiß durch Einwirkung verdünnter Säuren leicht darzustellende Syntonin. Die Albuminate sind in verdünnten Säuren und Alkalien löslich; beim Neutralisieren dieser Lösungen fallen sie aus. Durch Erhitzen werden ihre schwach sauren bezw. alkalischen Lösungen nicht zur Gerinnung gebracht.

6. Albumosen. Gemäßigte, nicht zu lange fortgesetzte Einwirkung von Mineralsäuren wandelt die Albumine und Globuline in leicht lösliche, nicht mehr gerinnungsfähige Körper um. Wie Mineralsäuren wirken auch die Verdauungsfermente, auf die wir später noch einzugehen haben werden. Die sehr mannigfaltigen Produkte, die auf die eine oder andere Art aus den genuinen Eisweißkörpern entstehen, fasst man unter dem Namen Albumosen zusammen. In den meisten Fällen sind die Albumosen nicht etwa Modifikationen, sondern Spaltungsprodukte der genuinen Eiweiße.

Die Albumosen haben ein gewisses, wenn auch geringes Diffusionsvermögen. Den Mineralsäuren gegenüber besitzen sie basischen Charakter, sie vermögen z. B. nicht unbeträchtliche Mengen von Salzsäure zu binden. Aus ihren Lösungen werden sie vollständig durch Ammoniumsulfat niedergeschlagen.

7. Peptone. Die Peptone entstehen aus den nativen und den koagulierten Eiweißstoffen auf dieselbe Weise wie die Albumosen; jedoch müssen, wenn es zur Peptonbildung kommen soll, die Mineralsäuren oder Fermente eine länger dauernde und daher weitergehende Wirkung entfalten. Auch durch Behandlung der Eiweißstoffe mit Alkalien können Peptone erzeugt werden.

In der prozentischen Zusammensetzung weichen die Peptone nicht erheblich von den nativen Proteinen ab; sie sind jedoch nicht als umgewandelte Eiweiße aufzufassen, sondern zweifellos als Spaltungsprodukte ihrer Muttersubstanzen, was sich daraus ergiebt, dass ihr Molekulargewicht ganz beträchtlich kleiner ist als das wahrscheinliche der Eiweißkörper (etwa $^1/_{20}$ bis $^1/_{10}$ von dem der letzteren).

Die Peptone sind in Wasser leicht löslich. Durch tierische Membranen diffundieren sie beträchtlich leichter als die Albumosen. Wie diese bilden sie mit Chlorwasserstoffsäure salzartige Verbindungen. Durch Ammoniumsulfat werden sie aus ihren Lösungen nicht mehr gefällt.

17. Die Spaltung des Eiweißes bei der Peptonisierung lässt sich der schon besprochenen Verzuckerung der Stärke vergleichen. In beiden Fällen geht eine ursprünglich sehr komplizierte Molekel durch fortschreitende Aufnahme der Elemente des Wassers und damit verbundene Abbröckelung kleinerer Atomkomplexe in eine Summe einfacherer Molekeln über. Der Vorgang ist der gleiche wie bei der Invertierung eines Doppelzuckers oder bei der Verseifung eines Fettes, nur dass sich bei der Größe der Eiweiß- und Stärkemolekel der ersten Spaltung eine zweite, der zweiten eine dritte und an diese vielleicht noch weitere anschließen können, ehe die letzten Komponenten der großen Molekel, zu denen diese Art der Spaltung schließlich führt, erreicht sind. Mit Rücksicht auf die Beteiligung des Wassers hat man den Spaltungsvorgang treffend als Hydrolyse[1]) oder hydrolytische Spaltung bezeichnet. Wie bei der Verzuckerung der Stärke, so führt auch bei der Peptonisierung des Eiweißes die Hydrolyse erst zu einer Reihe mehr und minder gut definierbarer Zwischenprodukte; zwischen Stärke und Zucker stehen die Dextrine, zwischen Eiweiß und Pepton die Albumosen. Das Verhalten der Eiweißkörper können wir danach mit wenigen Worten folgendermaßen kennzeichnen: 17. Hydrolyse der Eiweißstoffe.

Die genuinen Eiweißkörper werden unter gewissen Bedingungen durch Mineralsäuren, durch Alkalien und durch gewisse Fermente hydrolytisch gespalten; dabei entstehen zuerst Albumosen, bei weiter gehender Spaltung Peptone.

18. II. Unter Proteiden versteht man eine Gruppe von Proteinstoffen, die als Verbindungen von Eiweiß mit gewissen nicht eiweißartigen, aber ebenfalls kompliziert zusammengesetzten organischen Substanzen aufzufassen sind. 18. Proteide.

Unterwirft man die Proteide der Spaltung durch Mineralsäuren, so entstehen aus den nicht eiweißartigen Komponenten Kohlenhydrate (Glykosen), eisenhaltige Farbstoffe (Hämatine) oder sog. Nukleïnbasen. Danach teilt man die Proteide ein in

1. Glykoproteide,
2. Hämoglobine und
3. Nukleoproteide.

1. Die Glykoproteide. Die typischen Vertreter dieser Untergruppe sind die Mucine oder Schleimstoffe.

[1]) Neben „Hydrolyse“ wird mit gleicher Bedeutung auch die Bezeichnung „Hydratation“ gebraucht. Wir halten es für richtiger, von Hydratation nur da zu sprechen, wo eine Hydratbildung, also nur eine Anlagerung der Elemente des Wassers, aber keine Spaltung vorliegt. Wo man jedoch Grund hat, eine Spaltung zu vermuten, ist der Ausdruck Hydrolyse vorzuziehen.

Die Mucine kommen vor in den Absonderungen der Speicheldrüse und der Schleimbecher und in den Sehnen bei den höheren Tieren, in der Haut der Schnecken (Schneckenmucin), in den Schleimhüllen der Froscheier. Im Pflanzenreich sind sie bisher nicht gefunden worden. Ihrer Zusammensetzung nach unterscheiden sie sich von den Eiweißkörpern durch einen Mindergehalt an Kohlenstoff und besonders an Stickstoff. So enthält z. B. das Mucin der Unterkieferdrüse 48,8 % C, 6,8 % H, 12,3 % N, 0,84 % S, 31,2 % O.

Die Mucine haben säureartigen Charakter. In Wasser sind sie unlöslich, sie lösen sich aber auf Zusatz einer ganz geringen Menge von Kali- oder Natronlauge. Durch Essigsäure werden sie aus diesen Lösungen gefällt. Die Lösungen sind schlüpfrig, stark fadenziehend; eine Koagulation erleiden sie beim Erhitzen nicht.

Beim Kochen mit Mineralsäuren werden die Mucine gespalten; der Eiweißkomponent wird hydrolysiert (peptonisiert), aus dem anderen entsteht ein kohlenhydratartiger Körper, der auf gewisse Metallsalze in ähnlicher Weise wie Traubenzucker reduzierend einwirkt.

Außer den echten Mucinen kennt man noch eine Reihe ähnlicher Stoffe, die Mucoide und die Mucinoide, die sich von jenen durch ihr Verhalten gegen einzelne Reagentien unterscheiden.

2. Die Hämoglobine. Der im Blut der Wirbeltiere und vieler Wirbellosen vorkommende, für den Vorgang der Atmung sehr wichtige, rote Farbstoff, das eisenhaltige Hämoglobin, ist ein Proteid. Er gehört zu den wenigen Proteinstoffen, die man in krystalliertem Zustand erhalten kann. Die Form der Krystalle bei den verschiedenen Blutarten lässt deutliche Unterschiede erkennen. Da außerdem ihre Löslichkeit in Wasser und ihre quantitative Zusammensetzung bei den verschiedenen Tierarten verschieden ist, so müssen wir annehmen, dass es verschiedene Hämoglobine giebt. Die empirischen Formeln, die aus Analysen gut krystallisierter Präparate abgeleitet sind, weisen beträchtliche Differenzen auf. So wurde ermittelt für das Hämoglobin des Pferdeblutes die Formel

$$C_{712}H_{1130}N_{214}O_{245}FeS_2,$$

für das des Hundes die Formel

$$C_{758}H_{1203}N_{195}O_{218}FeS_3,$$

was einem Molekulargewicht von 16710 bezw. 16669 entspricht.

Die Hämoglobine lösen sich leicht in Wasser zu einer blutroten Flüssigkeit.[1]) Wird die Lösung erhitzt oder mit Säuren versetzt, so

[1]) Bei sehr verdünnten Lösungen und nicht zu dicken Schichten ist die Farbe blassrosenrot. Betrachtet man das durch solche Schichten gegangene Licht durch ein Spektroskop, so sieht man in dem Spektrum zwei schmale dunkle Absorptionsstreifen zwischen den FRAUNHOFER'schen Linien D und E, wenn das Hämoglobin Sauerstoff an sich gebunden hat. Ist es aber vollkommen sauerstofffrei, dann erscheint nur ein etwas breiterer Streifen an einer Stelle, welche zwischen den Orten der beiden vorhergenannten Streifen liegt. In dickerer

tritt sehr rasch eine dunkelbraune Verfärbung ein: der Blutfarbstoff spaltet sich in Globin und Hämatin. Das letztere ist ein eisenhaltiger Farbstoff von der verhältnismäßig einfachen Zusammensetzung $C_{32}H_{32}N_4FeO_4$.

Mit Chlorwasserstoffsäure bildet das Hämatin unter Abspaltung von Wasser eine salzartige Verbindung von ausgezeichnetem Krystallisationsvermögen, das Hämin $= C_{32}H_{30}N_4FeO_3 \cdot HCl$, dessen Darstellung unter Umständen ein wertvolles Hilfsmittel für die Erkennung des Blutes ist (TEICHMANN'sche Häminkrystalle). Das Globin, der andere Komponent des Hämoglobins, ist ein gerinnungsfähiges eisenfreies Globulin; es macht etwa 96% des Hämoglobins aus.

3. Die Nukleoproteide. Wie die Nukleoalbumine bestehen die Nukleoproteide aus Eiweiß und einem phosphorhaltigen Komponenten. Der letztere aber ist bei den Proteiden dadurch ausgezeichnet, dass aus ihm gewisse organische Basen, und zwar Xanthinkörper, abgespalten werden können. Die Xanthinkörper, die bis jetzt als Bestandteile der Nukleoproteide gefunden worden sind, nennt man auch wohl Nukleinbasen; es sind dies

Xanthin	$C_5H_4N_4O_2$
Guanin	$C_5H_5N_5O$
Hypoxanthin	$C_5H_4N_4O$
Adenin	$C_5H_5N_5$

In jedem Nukleoproteid kommt immer nur eine dieser vierBasen vor.

Die Nukleoproteide finden sich besonders in den Kernen tierischer Zellen. Aus diesen gehen sie selbst oder ihre Spaltungsprodukte in die Gewebsflüssigkeiten über.

Ihrem chemischen Verhalten nach müssen sie als Säuren bezeichnet werden. Mit Alkalien bilden sie wasserlösliche Salze; aus ihren neutralen Lösungen werden sie beim Ansäuern (Essigsäure) gefällt.

Behandelt man ein Nukleoproteid mit Pepsin-Salzsäure, einer Flüssigkeit, die Eiweißkörper in Albumosen und Peptone umwandelt (sie „verdaut"), so wird ihr Eiweißkomponent abgespalten und gelöst, der phosphorhaltige Komponent aber nicht verändert. Es gelingt so, den letzteren rein, d. h. frei von Eiweiß darzustellen. Nach diesem Verfahren hat man aus der Bauchspeicheldrüse, aus Lymphdrüsen, weißen Blutkörperchen, tierischen Samenzellen und anderem Material diesen phosphorhaltigen Zellbestandteil isoliert. Man nennt ihn Nuklein. Zusammensetzung und

---

Schicht wird alles Licht mit Ausnahme des roten absorbiert. Unverdünntes Blut ist selbst in dünnen Schichten ganz undurchsichtig; in sehr dünnen Schichten zeigt es dieselben Erscheinungen wie Hämoglobinlösungen. Diese optischen Eigenschaften des Hämoglobins, sowie die gleichfalls charakteristischen seiner Zersetzungsprodukte können dazu dienen, Blut von anderen roten Flüssigkeiten zu unterscheiden in Fällen, wo keine Blutkörperchen zu sehen sind und auch der chemische Nachweis des Hämoglobins versagt.

Eigenschaften dieses Körpers wechseln mit seinem Ursprung, wir haben es also nicht mit einem Nuklein zu thun, sondern mit einer Gruppe von Nukleinen. Der Phosphorgehalt der einzelnen Nukleine schwankt zwischen 3 und 10%; so enthält

Nuklein aus Lachssperma 9,6% Phosphor
„ „ Gänseblut 6—7% „
„ „ Hefezellen 3,2—4% „

Für alle echten Nukleine gielt es als charakteristisch, dass sie beim Kochen mit Salzsäure Nukleinbasen liefern. Wohl zu unterscheiden sind von ihnen die phosphorhaltigen Komponenten der Nukleoalbumine (des Kaseins), aus denen keine Nukleinbasen entstehen. Diese — im übrigen nukleinähnlichen Zellbestandteile hat man als Pseudonukleine oder Paranukleine bezeichnet.

Nukleine sowohl wie Pseudonukleine sind oft eisenhaltig.

19. Albuminoide.

19. III. Albuminoide. Die organischen Stütz- und Gerüstsubstanzen des Tierkörpers hat man als letzte Gruppe der Proteinstoffe unter dem Namen Albuminoide zusammengefasst.

Die Albuminoide stammen zweifellos vom Eiweiß ab. Wie es scheint, hat allein der Tierkörper die Fähigkeit, sie aus Eiweiß zu erzeugen; denn bei den Pflanzen kommen sie nicht vor. In ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften weichen sie sowohl voneinander wie von ihrer Muttersubstanz wesentlich ab. In Wasser sind sie unlöslich; aber auch in differenten Flüssigkeiten lösen sie sich nicht oder doch nur, indem sie entweder völlig zersetzt oder weitgehend verändert werden.

Die wichtigsten Untergruppen der Albuminoide sind folgende:

1. Die Keratine,
2. Die Elastine,
3. Die Kollagene,
4. Die Skeletine.

1. Die Keratine. Die organische Grundsubstanz der Hautgebilde, wie der verhornenden Zellen der Oberhaut, der Haare und Federn, der Wolle, der Nägel, Hörner und Hufe und des Schildpatts besteht aus Keratin.

Aus den Elementaranalysen der aus Keratin bestehenden Gewebe muss geschlossen werden, dass es mehrere Keratine giebt. Sie sind alle reich an Schwefel; der Schwefelgehalt schwankt zwischen 2 und 5%. Kocht man ein Keratin mit Wasser, so wird ein Teil des Schwefels abgespalten. Ein Lösungsmittel für Keratin giebt es nicht. Zwar werden sie durch gespannten Wasserdampf wie auch durch Alkalilaugen allmählich gelöst, aber sie erleiden dabei eine weitgehende hydrolytische Spaltung. — Keratinhaltiges Gewebe entwickelt beim Verbrennen in freier Flamme den bekannten Geruch nach verbranntem Horn. Unter den Spaltungs-

produkten, welche bei anhaltendem Kochen der Keratine mit Mineralsäuren entstehen, findet man neben anderen Verbindungen ziemlich reichlich Leucin und Tyrosin, die wir schon als Produkte der Eiweißfäulnis kennen gelernt haben.

2. Die Elastine. Die elastischen Fasern, wie sie konstant im fibrillären Bindegewebe vorkommen, elastische Häute und elastisches Gewebe bestehen im wesentlichen aus Elastin. Am reichlichsten findet es sich im Nackenbande (*Ligamentum nuchae*) und in den Wandungen der großen Arterien.

Seiner Zusammensetzung nach steht das Elastin den Eiweißkörpern nahe, bis auf den Schwefelgehalt, der bei ihm jedenfalls sehr gering ist. Das Elastin des Nackenbandes scheint überhaupt schwefelfrei zu sein.

Die verschiedenen Elastine sind in Wasser unlöslich; auch gegen verdünnte Säuren und Alkalien sind sie indifferent. Von konzentrierten Säuren und Laugen werden sie unter Zersetzung gelöst.

3. Die Kollagene. Im Körper der Wirbeltiere kommt Kollagen oder leimgebende Substanz sehr reichlich vor. Es ist die organische Grundsubstanz der Knochen — als solche Ossein genannt —, der Knorpel und des fribrillären Bindegewebes.

Es enthält im Mittel 50,75 % C, 6,47 % H, 17,86 % N, 24,32 % O und 0,60 % S. Gegenüber den Eiweißkörpern, aus denen es entsteht, ist sein Kohlenstoffgehalt im Durchschnitt etwas kleiner und der Sauerstoffgehalt etwas größer, was dafür spricht, dass das Kollagen durch einen Oxydationsvorgang aus Eiweiß gebildet wird. Diese Oxydation aber muss zugleich eine Spaltung sein; denn wenn man Kollagen durch anhaltendes Kochen mit Säuren zersetzt, so findet man unter den Zersetzungsprodukten wohl noch Leucin, aber kein Tyrosin mehr. Die im Eiweiß vorhandene Tyrosingruppe muss also bei seinem Übergang in Kollagen abgetrennt worden sein. Als charakteristisches Zersetzungsprodukt des Kollagens tritt neben Leucin noch Glykokoll auf.

In Wasser, verdünnten Säuren und Alkalien ist Kollagen unlöslich, wird aber von Pepsin-Salzsäure gelöst. In verdünnten Säuren quillt es auf.

Durch längeres Kochen mit Wasser wird es in Glutin oder Leim (Colla) umgewandelt. Dieser Vorgang ist vielleicht eine einfache Hydratation, eine Anlagerung der Elemente des Wassers. Wie es scheint, kann der Leim durch Erhitzen auf 130° in Kollagen zurückverwandelt werden.

In kaltem Wasser quillt der Leim auf, ohne sich zu lösen; in heißem Wasser löst er sich zu einer fadenziehenden klebrigen Flüssigkeit, die beim Erkalten zu einer Gallerte erstarrt, gelatiniert. Leimlösungen diffundieren nicht. Durch Kochen mit verdünnten Mineralsäuren wird Leim in ähnlicher Weise verändert wie Eiweiß, er wird hydrolytisch

gespalten; es entstehen aus ihm die den Albumosen und Albuminpeptonen vergleichbaren Glutosen (Gelatosen) und Leimpeptone. Die gleiche Veränderung bewirkt auch Behandlung mit Pepsinsalzsäure.

4. Die Skeletine. Zu den Skeletinen rechnet man eine Reihe verschiedenartiger albuminoider Stoffe, welche die organische Grundsubstanz der Deck- und Stützgebilde gewisser wirbelloser Tiere ausmachen. Sie stehen zu den Eiweißkörpern in genetischer Beziehung, sind ärmer an Kohlenstoff als diese (46—50%) und wesentlich reicher an Sauerstoff (24—28%). Gegen Wasser und verdünnte Säuren und Alkalien verhalten sie sich im allgemeinen indifferent; beim Kochen mit verdünnten Säuren werden sie hydrolytisch gespalten oder weiter zersetzt. Ihre Spaltungs- oder Zersetzungsprodukte sind denen des Eiweißes ähnlich oder gleich: peptonartige Körper, Leucin, Tyrosin, Glykokoll.

Da sie bisher noch nicht genügend untersucht sind und außerdem bei einigen ihre Zugehörigkeit zu den Proteinstoffen noch zweifelhaft oder sogar recht unwahrscheinlich ist, so wollen wir hier nur die wichtigeren ganz kurz anführen.

Spongin, die organische Substanz des Badeschwamms.

Konchiolin, kommt in den Schalen der Muscheln und Schnecken vor.

Kornein, der organische Bestandteil des Skeletts gewisser Korallen.

Fibroin und Sericin, die beiden Hauptbestandteile der Rohseide.

Chitin, findet sich besonders bei den Gliedertieren, z. B. in den Panzern der Krustaceen, im Hautskelett der Insekten. Ob das Chitin überhaupt zu den Albuminoiden gerechnet werden darf, ist sehr unwahrscheinlich; nach seinen Spaltungsprodukten gehört es nicht hierher. Bei Einwirkung starker Salzsäure zerfällt es in einen stickstoffhaltigen Zucker, das Glykosamin $C_6H_{11}O_5 \cdot NH_2$, und in Essigsäure.

Elftes Kapitel.

Allgemeiner Überblick über die Lebenserscheinungen.

1. Unsere bisherigen Betrachtungen haben uns noch nichts von den Lebenserscheinungen gelehrt. Von der Ansicht ausgehend, dass für diese die physikalische und chemische Beschaffenheit der lebenden Substanz von maßgebender Bedeutung sein müsse, haben wir zunächst versucht, uns von ihr eine möglichst vollständige Vorstellung zu verschaffen. Um die eigentlichen Lebenserscheinungen kennen zu lernen, müssen wir ein lebendes Wesen selbst während des Lebens genauer beobachten. Da aber die Lebenserscheinungen nicht bei allen Lebewesen in gleicher Weise ablaufen, müssten wir, um sie ganz kennen zu lernen, alle Lebewesen einer vergleichenden Betrachtung unterziehen. Eine solche vergleichende Physiologie ist nicht nur sehr schwierig; sie ist auch, da die Erscheinungen bei vielen Lebewesen zur Zeit noch ungenügend untersucht sind, in erschöpfender Weise noch gar nicht möglich. Ich halte es darum für zweckmäßig, zuerst an einer ganz allgemein gehaltenen Übersicht der Lebenserscheinungen, wie sie sich an einem bestimmten oder an einer unter sich in allen wesentlichen Eigenschaften übereinstimmenden Gruppe von Lebewesen zeigen, die Aufgaben der physiologischen Forschung in großen Zügen klarzumachen. Von dem so gewonnenen Standpunkt aus wird es dann auch möglich sein, die Vergleichung mit abweichenden Erscheinungen anderer Lebewesen vorzunehmen. Es fragt sich, welches der vielen uns bekannten Lebewesen wir zu diesem Zwecke auswählen sollen. 1. Säugetiere.

Manche Gründe sprechen dafür, die Beobachtung an solchen Formen zu beginnen, welche einen möglichst einfachen Bau aufweisen. Aber gerade an diesen sind viele wichtige Lebenserscheinungen nur sehr schwer zu erforschen oder entziehen sich sogar der unmittelbaren Beobachtung gänzlich; man kann auf sie durch Analogie schließen, nachdem man sie an anderen Lebewesen schon erkannt hat. Wählt man andererseits für diese Übersicht ein hochorganisiertes Wesen,

z. B. den Menschen, so begegnet man freilich der Schwierigkeit, dass ein großer Teil der Vorgänge sich der unmittelbaren Beobachtung entzieht, weil er sich im Innern des Körpers abspielt; aber die so entstehenden Lücken lassen sich auf andere Weise ergänzen, insbesondere durch Untersuchung von Lebewesen, welche in ihrem Bau dem Menschen so nahe stehen, dass die Übertragung der an jenen gewonnenen Kenntnisse auf den Menschen ohne weiteres gestattet ist.

Seinem anatomischen Bau nach gehört der Mensch zu den Säugetieren, und seine Lebenserscheinungen verlaufen in der gleichen Weise, wie bei anderen Säugetieren. Es ist daher gleichgiltig, welches Säugetier wir für diese orientierende Übersicht wählen. Äußere Gründe, leichte Beschaffung u. dgl. haben die Wahl auf das Kaninchen gelenkt. Die zu berichtenden Thatsachen würden im großen und ganzen auf jedes Säugetier und in vielen wesentlichen Stücken auf jedes Wirbeltier passen, da die Säugetiere eine der Abteilungen der Wirbeltiere darstellen, welche alle anatomisch wie physiologisch viel Gemeinsames aufweisen.

Die Betrachtung der Lebenserscheinungen ist nicht möglich, wenn man nicht eine klare Vorstellung von dem anatomischen Bau des Tieres hat, um das es sich handelt. Wir werden daher in diesem Kapitel eine kurze Übersicht über den Bau und die physiologischen Erscheinungen der Säugetiere geben, anknüpfend in erster Linie an das Kaninchen und mit Ausblicken auf die analogen Verhältnisse beim Menschen.

Der Körper des Kaninchens ist ganz von einer derben, festen, dicht behaarten Haut umschlossen. Wenn auch nicht alle Säugetiere einen so gleichmäßig entwickelten Pelz besitzen wie das Kaninchen, so ist doch das Vorkommen echter Haare in der äußeren Umhüllung charakteristisch für alle. Wir können die Säugetiere definieren als Wirbeltiere mit Haaren. Andere Eigenschaften, z. B. das Gebären lebendiger Jungen, welche man früher in die Definition aufnahm, müssen wir fallen lassen, da sie nicht allen gemeinsam sind (s. Kap. 2 § 5).

Wenn wir, wie bei unserem Tier, schon äußerlich einzelne Abschnitte des Körpers, Kopf, Beine u. s. w. unterscheiden können, so nennen wir diese Abschnitte Körperteile oder auch Glieder, Gliedmaßen. Die anatomische Zergliederung des Innern an der Leiche zeigt uns weiter einzelne, gut abgegrenzte Massen, Herz, Leber, Muskeln, Knochen u. s. w., die wir als Organe[1]) bezeichnen. Die genauere Untersuchung der Organe endlich, besonders auch

[1]) Die wahre Bedeutung dieser Bezeichnung und der aus ihr abgeleiteten „Organismus“ wird aus späteren Erörterungen noch deutlicher hervorgehen.

mit Hilfe des Mikroskops, lehrt, dass sie aus einer Anzahl von Bildungen bestehen, welche in wechselnden Zusammensetzungen immer wiederkehren, die wir, vorbehaltlich weiterer Auseinandersetzungen, als Gewebe bezeichnen und vorläufig als letzte Bestandteile des Körpers betrachten wollen.

Unser Kaninchen lässt an äußeren Körperteilen unterscheiden: Kopf, Hals, Rumpf, Schwanz und Beine oder Extremitäten. Der Rumpf ist durch eine, äußerlich nicht sichtbare Scheidewand, das Zwerchfell oder Diaphragma in eine Brust- und eine Bauchregion abgeteilt. Alle diese Teile finden wir auch bei anderen Säugetieren, wenn auch nicht immer in derselben Klarheit ausgeprägt. Die Grenzen zwischen Kopf, Hals, Brust und Bauch sind zuweilen undeutlich; auch sind die Extremitäten bei manchen Säugetieren nur unvollkommen ausgebildet oder zum Teil im Innern des Körpers verborgen.

Unser Tier zeigt ferner eine vollständige seitliche Symmetrie, d. h. wenn wir es der Länge nach durch eine Mittelebene geteilt denken, so entsprechen die beiden Hälften einander in der Art, wie ein Gegenstand und sein in einem Planspiegel gesehenes Bild. Für die äußeren Formen und viele paarig vorhandene innere Organe ist diese Symmetrie fast vollkommen geometrisch genau. Es giebt aber auch Organe, welche nur einfach vorhanden sind, und andere, zwar doppelt vorhandene, bei denen aber dennoch die Symmetrie eine unvollkommene ist. Das Tier besteht also, wenn wir von diesen geringen Abweichungen absehen, aus zwei im wesentlichen gleichen Hälften, einer rechten und einer linken. Außerdem können wir an dem Tiere ein Kopf- und ein Schwanzende, eine Bauch- und eine Rückenfläche unterscheiden.[1])

2. Wir durchschneiden, um die inneren Teile bloßzulegen, die äußere Haut an der Bauchseite in der Mittellinie unter möglichster 2. Anatomie des Kaninchens.

[1]) Um für die Beschreibung die Lage der einzelnen Teile gegeneinander genau bezeichnen zu können, hat man eine Anzahl von Kunstausdrücken eingeführt, welche zweckmäßig so gewählt werden, dass sie auf möglichst große Gruppen von Lebewesen anwendbar sind. Bei der Beschreibung des menschlichen Körpers bedient man sich häufig der Bezeichnungen „oben, unten, vorn, hinten", wobei man sich den Menschen in aufrechter Stellung vorstellt. Die Ausdrücke passen für die auf vier Beinen gehenden Säugetiere schon nicht ganz, noch weniger für andere Tiere, deren Bau noch mehr von dem des Menschen abweicht. Besser sind Bezeichnungen, welche von bestimmten, leicht auffindbaren Teilen abgeleitet sind. Wir unterscheiden daher ein Kopf- oder orales Ende und ein Schwanz- oder aborales Ende, eine Rücken- oder dorsale und eine Bauch- oder ventrale Seite. Die Schnittfläche, welche das Tier in zwei gleiche Hälften zerlegt, nennen wir die Medianebene; was seitwärts von dieser liegt, heißt lateral, wobei wir noch die rechte und die linke Seite des Tieres unterscheiden. Bei Teilen, welche eine gestreckte Gestalt haben, nennen wir das dem Rumpf nähere Ende das proximale, das entferntere das distale. Diese Ausdrücke werden vorläufig genügen, um bei der folgenden Besprechung über die Lage der Teile zu orientieren.

Schonung der inneren Teile. Wir beginnen am Halse, dicht am Kinn und führen den Schnitt nach dem Schwanzende hin bis nahe an die dort gelegene, später zu erwähnende Afteröffnung. Am Halse finden wir zunächst Weichteile, an der Brust gelangen wir auf einen unter der Haut gelegenen harten Körpor, das Brustbein (*sternum*). Am Bauch fühlen wir wenig Widerstand; um nichts zu verletzen, heben wir die hier leicht beweglichen Bauchdecken empor und spalten sie in der Medianlinie: Wir gelangen so in eine geräumige Höhle (Bauchhöhle, Abdomen), in welcher die Baucheingeweide liegen. Oralwärts ist dieselbe durch das schon erwähnte Zwerchfell von der Brusthöhle geschieden.

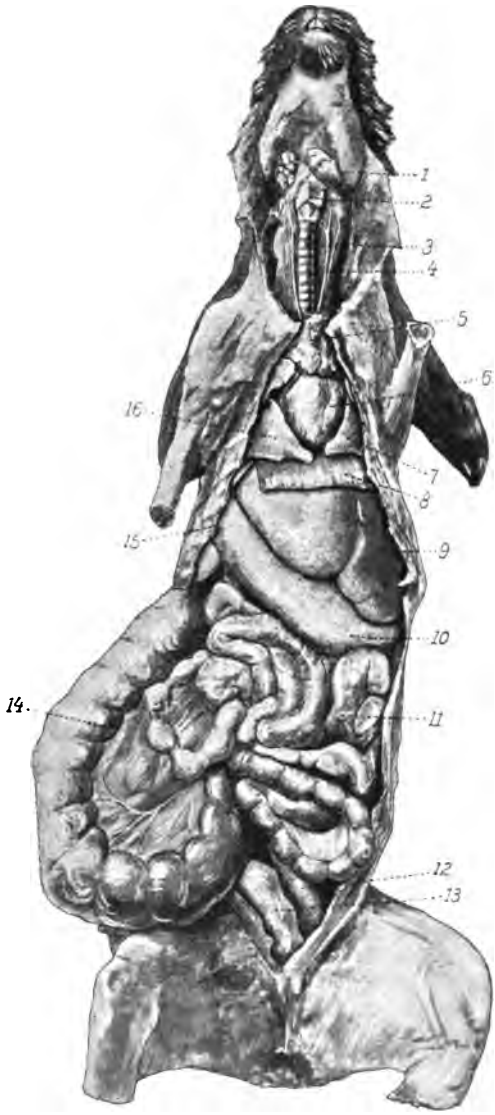


Fig. 32.

Eingeweide des Kaninchens, von der Bauchfläche gesehen. Die Haut und die oberflächlichen Teile sind teilweise entfernt; die Brust- und Bauchhöhle durch Fortnahme des Brustbeins, der vorderen Teile der Rippen und der vorderen Bauchwand eröffnet, der Dickdarm nach rechts umgelegt, um den von ihm bedeckten Dünndarm sichtbar zu machen. Etwa 4/10 der natürlichen Größe.

1 Unterkieferspeicheldrüse; 2 Kehlkopf; 3 Luftröhre; 4 die linke Halsschlagader (Art. carotis), neben ihr der Nervus vagus; 5 Fettgewebe, unter welchem die Brustdrüse (Thymus) und der Aortenbogen liegen; 6 das Herz; 7 die linke Lunge; 8 das Zwerchfell, welches vorn am Brustbein und den unteren Rippen befestigt war, wegen Entfernung der letzteren durchschnitten; 9 die (bei Kaninchen immer sehr große) Leber; 10 der Magen, zum großen Teil von der Leber bedeckt; 11 der sehr lange, vielfach gewundene Dünndarm; 12 der Mastdarm (Rektum); 13 die Harnblase; 14 der nach rechts umgelegte Dickdarm (daneben sieht man einen Teil des Mesenteriums, durch das Umlegen ausgespannt); 15 Durchschnitt einer Rippe; 16 rechte Lunge.

Wir präparieren jetzt die Haut und einen Teil der unter ihr liegenden Weichteile nach rechts und links mit flachen Messerschnitten ab und finden, dass neben dem Sternum jederseits eine Anzahl von querverlaufenden Knochenleisten, die Rippen (*costae*) liegen, mit dem Brustbein durch weichere Gebilde (die Rippenknorpel) verbunden. Wir durchschneiden die Anheftung des Zwerchfells an das Sternum und an die untersten Rippen, sodann die Rippen selbst mit Hilfe einer Knochenschere und entfernen die ganze ventrale Brustwand, bestehend aus dem Sternum und den an diesem beiderseits gebliebenen abgeschnittenen Rippenstümpfen, sowie die ventralen Flächen der Bauchdecken zu beiden Seiten des vorher gemachten Medianschnitts.

Wir übersehen jetzt die sämtlichen in der Brust- und Bauchhöhle liegenden Eingeweide, soweit sie nicht von anderen Teilen überdeckt sind. Um tiefer gelegene Teile zu sehen, müssen wir die oberflächlich gelegenen fortnehmen oder zur Seite schieben. Zunächst bemerken wir am Halse einen weißlichen harten Körper, den Kehlkopf (*larynx*) (2); von diesem zieht eine steife Röhre, die Luftröhre (*trachea*) (3) nach der Brusthöhle, wo sie mit den beiden Lungen (*pulmones*) (7, 16) zusammenhängt. Zwischen den Lungen sehen wir das Herz (*cor*) (6). In der Bauchhöhle bemerken wir den Magen (*ventriculus*) (10), daneben, ihn zum Teil bedeckend, die Leber (*hepar*) (9); endlich, den größten Teil der Bauchhöhle ausfüllend, den gewundenen Darm (*intestinum*), an welchem wir den Dünndarm (11) und den Dickdarm (14) unterscheiden, endlich nahe der Afteröffnung die Harnblase (*vesica urinaria*) (13). Wenn wir die gewundenen Darmschlingen etwas in die Höhe heben, so bemerken wir, dass sie unmittelbar mit dem Magen zusammenhängen und dass sie an der dorsalen Fläche der Bauchhöhle durch eine dünne, durchsichtige Membran, das Gekröse (*mesenterium*) befestigt sind. Wir können dann auch die Nieren (*renes*) sehen, von denen zwei dünne röhrenförmige Stränge die Harnleiter (*ureteres*) zur Harnblase ziehen, sowie zwei Röhren, welche Blut enthalten, die *Aorta abdominalis* und *Vena cava ascendens*, und zwei dünne grauweiße Stränge, welche zum Nervensystem gehören, Teile des sogenannten *Sympathicus*.

Nach dieser ersten oberflächlichen Orientierung wenden wir uns zum weiteren Studium der Betrachtung eines Medianschnittes zu, wie man ihn erhält, wenn man eine gefrorene Leiche mit der Säge in der Mittelebene durchschneidet, oder wenn man ganz junge Tiere durch Einlegen in Reagentien so herrichtet, dass man sie mit Messern schneiden kann.[1]) Was uns hier zunächst auffällt, ist eine Reihe von festen Kör-

[1]) Die Reagentien müssen so gewählt werden, dass einerseits die Weichteile so weit gehärtet werden, dass sie dem Messer nicht ausweichen, andererseits die zu harten Teile (Knochen) durch Ausziehen der in ihnen enthaltenen Kalksalze erweicht und schnittfähig gemacht werden.

pern (Fig. 33, 8), welche, näher der dorsalen als der centralen Fläche, aneinander gereiht den ganzen Hals-, Rumpf- und Schwanzteil des Tieres durchzieht. Zu jedem solchen Körper scheint noch weiter dorsalwärts je ein Stück zu gehören, welches auf unserem Schnitt in verschiedenen Gestalten erscheint (9). Die beiden Reihen sind Durchschnitte von Knochen, von denen jeder für sich betrachtet, eine Art von Ring bildet, mit einem stärkeren, ventralen Teil (dem Körper) und einem sich daran setzenden dorsalen Bogen. Man nennt sie die Wirbel (*vertebrae*).

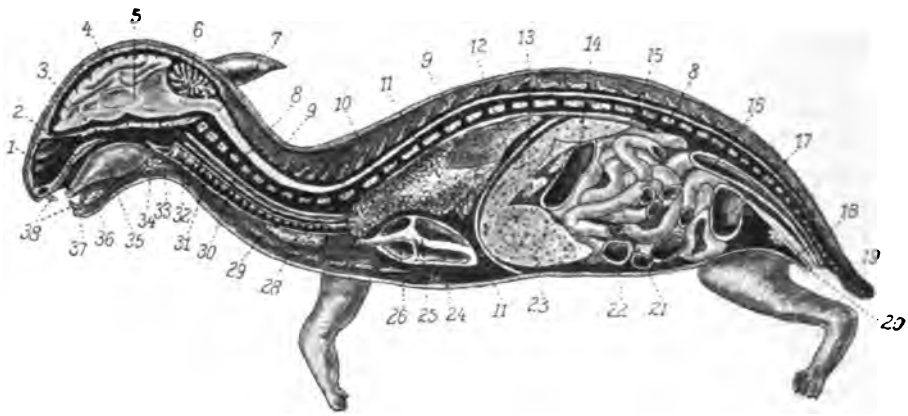


Fig. 33.

Medianschnitt eines (jungen) Kaninchens, etwas schematisiert, $^1/_2$ der natürlichen Größe. — 1 die rechte Nasenhöhle mit den Nasenmuscheln (die Nasenscheidewand ist mit der linken Körperhälfte entfernt worden); 2 das Gaumenbein (Scheidewand zwischen Nasen- und Mundhöhle); 3 die Schädelbasis; 4 das Schädeldach; zwischen beiden die Schädelhöhle, in welcher das Gehirn liegt; 5 das Großhirn; 6 das Kleinhirn; 7 das verlängerte Mark; 8 Durchschnitte durch die Wirbelkörper; 9 Durchschnitte durch die Dornfortsätze der Wirbel; 10 das Rückenmark; 11 die Lunge; 12 das Zwerchfell; 13 die Gallenblase; 14 der Magen; 15 die Bauchaorta; 16 der Mastdarm; 17 die Harnblase; 18 die Harnröhre; 19 die Afteröffnung; 20 die Harn- und Geschlechtsöffnung; 21 der (wegen der Windungen mehrfach durchschnittene) Dünndarm; 22 der Dickdarm; 23 die Leber; 24—26 das Herz; 28 die Brustdrüse; 29 (und die folgenden ähnlichen Stücke) Durchschnitte der einzelnen Knochen, aus denen bei jungen Tieren das Brustbein besteht; 30 die Speiseröhre; 31 die Luftröhre; 32 der Schlundkopf; 33 der Kehlkopf; 34 eine Speicheldrüse; 35 die Zunge; 36 Durchschnitt durch den Unterkiefer; 37 die Unterlippe; 38 Schneidezähne.

Anmerkung. Die vier Abteilungen des Herzens, die zwei Vorkammern (26) und zwei Kammern (24) sowie die Scheidewand zwischen linkem und rechtem Herzen (25) sind schematisch eingezeichnet, obgleich sie auf einem Medianschnitt nicht in der gezeichneten Weise sichtbar sein können.

Durch die Aneinanderfügung der einzelnen Wirbel entsteht die Wirbelsäule (*columna vertebralis*). Fig. 34 zeigt einen Wirbel aus der Wirbelsäule eines Menschen in der Ansicht von oben und von der Seite. Das Vorhandensein einer Wirbelsäule ist charakteristisch für alle Wirbeltiere, welche davon ihren Namen erhalten haben. Alle Wirbelringe bilden zusammen einen nicht vollkommen geschlossenen knöchernen Kanal, den Wirbelkanal (*canalis vertebralis*). Am oralen Ende stehen die Wirbel

mit einer Anzahl von Knochen in Verbindung, welche zusammen den Schädel (*cranium*) bilden, und welche eine geräumigere Höhle, die Schädelhöhle (*cavum cranii*) einschließen. Innerhalb des Wirbelkanals und seiner Fortsetzung, der Schädelhöhle, liegt das sogenannte Centralnervensystem, welches in einen dünneren, strangförmigen Teil, der in dem Wirbelkanal liegt, das Rückenmark (*medulla spinalis*) (10) und in einen dickeren, in der Schädelhöhle liegenden Teil, das Gehirn (*cerebrum*) (5, 6 und 7) zerfällt.

Ventral von der Wirbelsäule hat die von den Weichteilen umschlossene Leibeshöhle[1]) verschiedene Durchmesser. In derselben sehen wir an dem Medianschnitt Fig. 33 die uns schon bekannten Eingeweide, soweit sie durch den Schnitt getroffen werden. Unterhalb des

a b

Fig. 34.

Sechster Brustwirbel vom Menschen: *a* von oben; *b* von der Seite gesehen. 1 Wirbelkörper; 1' obere Fläche; 2 Seitenfortsätze; 3 Dornfortsatz; 5, 6, 7 Gelenkflächen, an welchen die Rippen mit den Wirbeln in Verbindung stehen; 8 ringförmiger Hohlraum, in welchem das Rückenmark liegt.

Gehirns liegen die Teile des Gesichtsschädels mit den darin gelegenen Organen. Vorn ist die rechte Nasenhöhle eröffnet (die beide Nasenhöhlen trennende Nasenscheidewand ist mit der linken Hälfte des Körpers entfernt worden.) Man erkennt die Nasenmuscheln (*conchae*) (1), auf denen sich das Geruchsorgan befindet. Die Nasenhöhle hängt durch den unterhalb der Nasenmuscheln hinziehenden unteren Nasengang mit der Rachenhöhle zusammen; durch die zum Teil knöcherne, zum Teil bewegliche Gaumenscheidewand (*palatum*) (2) ist sie von der Mundhöhle getrennt. Letztere ist von den Lippen (*labia*) (37) begrenzt; innerhalb der Mundhöhle sind die Durchschnitte des Ober- und Unterkiefers (36) und in diesen je ein Schneidezahn (38) sowie die Zunge (*lingua*) (35) zu sehen. Weiter sieht man den Kehlkopf (33) und die Luftröhre (31), den Schlundkopf (*pharynx*) (32), von welchem die

[1]) Dieselbe wird, wie wir schon wissen, durch das Zwerchfell in zwei Abteilungen geteilt, die oral gelegene Brust- und die aboral gelegene Bauchhöhle.

Speiseröhre (*oesophagus*) (30) zum Magen (14) führt. Ventral von der Lunge (11) das durchschnittene Herz (24—26) und das (bei jungen Tieren) aus einzelnen noch nicht ganz verknöcherten Abschnitten bestehende Brustbein (*sternum*), dessen oraler Anfangsteil (*manubrium sterni*) mit der Zahl 29 bezeichnet ist. Zwischen Sternum und der Luftröhre sieht man die bei jungen Tieren ziemlich große, später verkümmernde Brustdrüse (*thymus*) (28). Zwischen Brust- und Bauchhöhle ist das Zwerchfell (12) ausgespannt, kuppelförmig in die Brusthöhle vorgewölbt. In seiner Höhlung liegt die Leber (*hepar*) (23), der an dieser sichtbare, mit (13) bezeichnete Raum ist die eröffnete Gallenblase (*vesica fellea*). Dann folgen der durch den Schnitt eröffnete Magen (14), die mehrfach durchschnittenen Darmschlingen (21, 22) zuletzt in den der Länge nach aufgeschnittenen Mastdarm (*rectum*) (16) übergehend, welcher mit der Afteröffnung (*anus*) (19) am Schwanzende nach außen mündet. Man sieht außerdem noch die Bauchaorta (15), die durchschnittene Harnblase (17) und die Urogenitalöffnung (20), in welche die Harnröhre und die Geschlechtsorgane einmünden.

Bei der Öffnung des Kaninchenleibes, noch mehr aber bei der Anfertigung des Durchschnitts haben wir einen Unterschied zwischen weichen, mit dem Messer leicht zu trennenden Gebilden (Weichteilen) und härteren, aus Knochensubstanz gebildeten Teilen kennen gelernt. Letztere fassen wir unter dem Namen des Skeletts zusammen. Wenn wir die Weichteile soweit als möglich abtrennen und dann die Knochen längere Zeit in Wasser liegen lassen, so bleibt zuletzt das Skelett allein übrig. Allerdings zerfällt es dann in einzelne Knochen; wir können dieselben aber wieder so zusammenfügen, wie sie in dem lebenden Tier angeordnet waren. An einem solchen Skelett (Fig. 35) erkennen wir einzelne schon erwähnte Teile wieder. Zunächst die Wirbelsäule (3, 6, 7, 6′) und den Schädel (1), sodann die von der Wirbelsäule ausgehenden, die Brust bogenförmig von rechts und links umspannenden Rippen (5), ferner an der Ventralseite das Brustbein, welches mit den Rippen zusammen ein die Brusteingeweide einschließendes Gerüst, den sogenannten Brustkorb (*thorax*) bildet. Wir sehen ferner an zwei Stellen der Wirbelsäule mit Hilfe gewisser Zwischenstücke noch Gebilde angefügt, welche wir als Arme und Beine erkennen. Wir bezeichnen sie als Extremitäten und unterscheiden ein orales oder vorderes Paar (beim aufrecht stehenden Menschen würden wir sagen oberes) und ein aborales oder hinteres (beim Menschen unteres). Es ist bemerkenswert, dass alle Wirbeltiere, sofern sie überhaupt ausgebildete Extremitäten haben, stets deren vier, niemals mehr besitzen. Bei manchen Wirbeltieren freilich sind die Extremitäten nur unvollkommen oder gar nicht ausgebildet. Ich erinnere an die Waltiere und Sirenen unter den Säugetieren und an die gleichfalls zu den Wirbeltieren gehörigen Schlangen.

Jene Gebilde, durch welche die Extremitäten mit der Wirbelsäule zusammenhängen, sind an den vorderen Extremitäten etwas anders gestaltet als an den hinteren. Trotzdem lassen sich beide auf ein und denselben Grundplan zurückführen. Wir sehen an der vorderen Extremität an jeder Seite der Wirbelsäule einen platten dreieckigen Knochen,

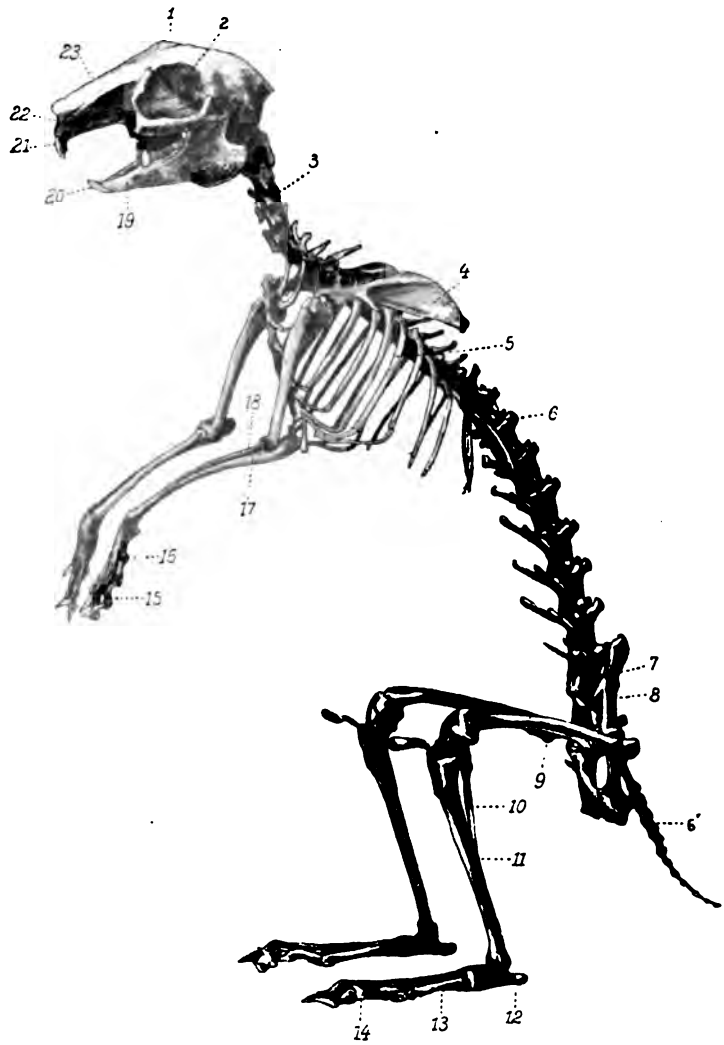


Fig. 35.

Skelett eines Kaninchens. Etwa $^1/_8$ der natürlichen Größe. 1 Schädeldach; 2 Augenhöhle; 3 Halswirbel; 4 Schulterblatt; 5 Rippe; 6 Brustwirbel; 7 Kreuzbein; 6' Schwanzwirbel; 8 Hüftbein; 9 Oberschenkelbein; 10 Wadenbein; 11 Schienbein; 12 Ferse; 13 Mittelfuß; 14 Zehen; 15 Finger; 16 Mittelhand; 17 Elnbogenbein; 18 Speiche; 19 Unterkiefer; 20 unterer Schneidezahn; 21 oberer Schneidezahn; 22 Oberkiefer: 23 Nasenbein.

das Schulterblatt (*scapula*) (4). Bei anderen Säugetieren, namentlich auch beim Menschen, findet man zwischen dem Schulterblatt und dem Sternum eine Art von knöcherner Spange, das Schlüsselbein (*clavicula*). Beim Kaninchen ist an dessen Stelle nur ein faseriger Strang vorhanden, in welchem ein dünner grätenförmiger Knochen eingebettet ist. Die beiden Schulterblätter bilden mit dem entsprechenden Abschnitt der Wirbelsäule an der dorsalen und mit den Schlüsselbeinen und dem oberen Abschnitt des Sternums, dem Manubrium (Fig. 33, 29), an der ventralen Seite eine Art von Ring oder Gürtel, den Schultergürtel, an welchen das orale Extremitätenpaar angefügt ist. An den aboralen Extremitäten ist der Gürtel ganz aus fest miteinander verbundenen Knochenteilen gebildet. An der dorsalen Seite dient zur Herstellung des Beckengürtels, wie man ihn nennt, ein Teil der Wirbelsäule, d. h. mehrere fest miteinander verwachsene Wirbel, welche zusammen Kreuzbein (*os sacrum*) (7) genannt werden. An dieses sind jederseits das Sitzbein (*os ischii*) das Darmbein (*os ilei*) und das Schambein (*os pubis*) derart angelagert, dass die beiden Schambeine an der ventralen Seite in der Mittellinie aneinander stoßen, wo sie durch eine feste Bandmasse miteinander verbunden sind. Diese Knochen sind bei älteren Tieren fast vollkommen zu zwei knöchernen Halbringen zusammengewachsen, so dass jede Seite als ein einziger Knochen, das Hüftbein (*os coxae*) (8), aufgefasst werden kann. Der Beckengürtel besteht dann aus dem Kreuzbein und den beiden Hüftbeinen.

An den Schultergürtel und an den Beckengürtel sind die Extremitäten angefügt. Jede Schulterextremität wird gebildet aus dem Oberarm (*humerus*), dem Unterarm, welcher aus zwei nebeneinander gelegenen Knochen, dem Elnbogenbein (*ulna*) (17) und der Speiche (*radius*) (18) gebildet wird, der Handwurzel (*carpus*), der Mittelhand (*metacarpus*) (16) und den Fingern (15), welche alle aus mehreren kleinen Knochen bestehen. An der Beckenextremität unterscheiden wir den Oberschenkel (*femur*) (9), den Unterschenkel mit seinen zwei, zum Teil miteinander verschmolzenen Knochen, dem Schienbein (11) (*tibia*) und dem Wadenbein (*fibula*) (10), die Fußwurzel (*tarsus*), den Mittelfuß (13) (*metatarsus*) und die Zehen (14). Von diesen gilt dasselbe wie von den entsprechenden Teilen der vorderen Extremität. Mittelhand und Finger, Mittelfuß und Zehen, sind (wie beim Menschen) fünfstrahlig.

Alle Knochen bestehen aus einer organischen Grundsubstanz (dem in Kap. 10, § 19 erwähnten Ossein), in welche reichlich anorganische Stoffe, vornehmlich Kalksalze, eingelagert sind. Dadurch erhalten sie eine große Festigkeit und können dem Organismus als Stütze der Weichteile dienen. Das aus ihnen gebildete Skelett des Wirbeltiers ist überall von Weichteilen umhüllt; wir nennen es deshalb ein inneres

oder Endoskelett, zum Unterschiede von dem äußeren oder Exoskelett, wie es z. B. bei den Arthropoden oder Gliedertieren vorkommt. Einige dieser Knochen sind fest miteinander verbunden. Die meisten derselben aber stoßen mit glatten, überknorpelten Flächen aneinander, so dass sie gegeneinander beweglich sind. Man nennt diese Art der Verbindung Gelenke. Die Bewegungen werden vermittelt durch Muskeln, welche zwischen benachbarten Knochen ausgespannte, aus sehr elastischen Fasern bestehende Bänder oder Stränge darstellen. Die Muskeln haben die Fähigkeit, sich zu verkürzen, wobei sie beträchtliche mechanische Arbeit zu leisten vermögen. So kommen Bewegungen der einzelnen Glieder gegeneinander und die Fortbewegung des ganzen Tieres im Raume (Ortsbewegung) zu stande.

3. Die Fähigkeit der Bewegung ist sicher eine der auffallendsten Erscheinungen an lebenden Tieren. Wir werden später ausführlich von den Bewegungen sprechen. Vorerst wollen wir von ihnen nur soweit Kenntnis nehmen, als sie der Ernährung dienen. Die Speisen gelangen zunächst in den Mund. In diesem werden sie durch Bewegungen des Unterkiefers gegen den fest mit dem Schädel verbundenen Oberkiefer zwischen den Zähnen zermalmt, mit Flüssigkeiten aus der Mundhöhle vermischt und schließlich verschluckt. Damit gelangen sie durch den Oesophagus in den Magen, von da in den Darm u. s. w. Diese Teile, welche wir schon im vorigen Paragraphen kennen gelernt haben, bilden einen zusammenhängenden, von häutigen Wandungen umschlossenen Schlauch, welcher am Munde beginnt und am After endet. Der Schlauch ist an seinen einzelnen Teilen verschieden weit; er ist viel länger als die geradlinige Entfernung vom Mund zum After, darum vielfach gewunden. Seine einzelnen Teile führen verschiedene Namen, Schlundröhre, Magen u. s. w. Wenn wir von diesen Einzelheiten absehen, so können wir in einem schematischen Längsschnitt eines Wirbeltiers dieses Rohr als einen einfachen Schlauch darstellen, welcher vom Mund zum After frei durch die Leibeshöhle (das Coelom) hindurch geht. Dieser „Ernährungsschlauch", auch Darmkanal genannt, liegt immer ventral von der Wirbelsäule, gleichsam aufgehängt in einer Falte der Haut, welche das Coelom auskleidet und welche den Namen Bauchfell (*peritonaeum*) führt, wie aus der schematischen Zeichnung eines Querschnitts durch die Leibeshöhle (Fig. 36b) ersichtlich ist. Die beiden Blätter des Peritonaeums, an denen der Ernährungsschlauch, aufgehängt ist, sind miteinander verwachsen und bilden das Gekröse oder Mesenterium. 3. Ernährung.

Unter diesem peritonaealen Überzug befindet sich in der Wand des Darmrohrs eine Schicht von Muskelfasern. Am Magen sind dieselben in Reihen angeordnet, welche zum Teil ringförmig, zum

Teil in schrägen Zügen die Höhlung umspinnen; am Darm können wir zwei Schichten unterscheiden, von denen die eine das Darmrohr ringförmig umgiebt, die andere parallel zur Axe desselben angeordnet sind. Wenn sich die ersteren verkürzen, wird das Rohr

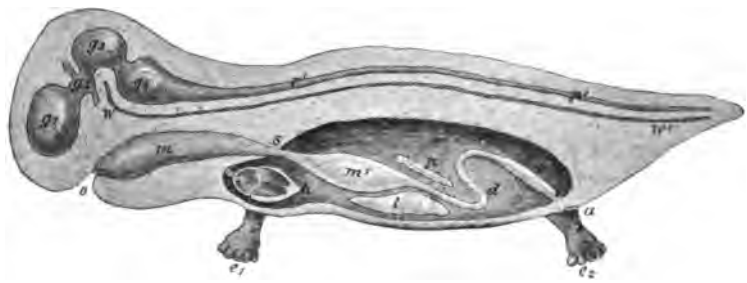


Fig. 36a.

Schematischer Längsschnitt durch einen Wirbeltierkörper. *o* Mundöffnung; *a* Afteröffnung. Zwischen beiden zieht sich der Ernährungsschlauch hin, welcher in den Mund- und Rachenteil (*m*), die Schlundröhre (*s*), den Magen (*m'*), den Darm (*d*) und den Mastdarm (*r*) zerfällt. *l* die Leber; *p* das Pankreas (Bauchspeicheldrüse); *w w'* die Anlage der Wirbelsäule, unter dem Rückenmark (*r' r'*) gelegen, welches später von den Wirbeln umschlossen wird; g_1-g_4 die Abteilungen des Gehirns; e_1 orale, e_2 aborale Extremität; *h* das Herz.

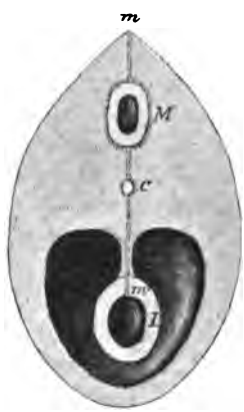


Fig. 36b.

Schematischer Querschnitt durch einen Wirbeltierkörper. *m m*, die Medianebene; *M* das Rückenmarksrohr, *c* die Anlage der Wirbelsäule; *D* der Ernährungsschlauch.

an der betreffenden Stelle verengert oder verschlossen; ziehen sich die anderen zusammen, so wird die betreffende Stelle des Rohrs kürzer. Die Zusammenziehungen dieser Muskelfasern erfolgen in unregelmäßigen Zeitabständen. Sie entstehen an gewissen Stellen und schreiten, gleichsam wellenförmig, in der Richtung vom Magen nach dem After fort. Durch sie werden die Speisen, nachdem sie verschluckt worden sind und längere Zeit im Magen verweilt haben, in den Dünndarm befördert und dann langsam in diesem fortgeschoben.

Die Wand des Darmschlauchs besteht außer den beiden schon erwähnten Häuten, dem Peritonaeum und der Muskelhaut, noch aus einer dritten zu innerst gelegenen Schicht, der Schleimhaut. In dieser befinden sich kleine Gebilde, welche Drüsen genannt werden. Sie erzeugen in sich Säfte oder Sekrete, welche in den Hohlraum des Magens und Darms austreten, wo sie sich mit den Bestandteilen der Nahrung vermischen. Größere Drüsen liegen außerhalb des Darmrohrs in dessen Nähe; durch Ausführungsgänge, welche die Darm-

wand durchbohren, gelangen die in den Drüsen erzeugten Säfte gleichfalls in das Darmrohr. Es sind dies die Speicheldrüsen, die Leber und das Pankreas (s. Fig. 36a, l und p). Während der von den ersteren erzeugte Speichel in den Mund ergossen wird, gelangen die Erzeugnisse der Leber und des Pankreas in den Anfang des Dünndarms. Unter der Einwirkung aller dieser Säfte werden die Bestandteile der Nahrung im Mund, im Magen und im Darm zum Teil chemisch verändert, welche Veränderungen man unter der Bezeichnung Verdauung zusammenfasst.

Das Kaninchen nährt sich bekanntlich von pflanzlicher Nahrung, Kohlblättern, Rüben, Kartoffeln u. dgl. Diese Nahrung enthält stets die drei Gruppen von chemischen Verbindungen, welche man als Kohlenhydrate, Fette und Proteine (vgl. Kap. 10) bezeichnet, außerdem eine Anzahl von Salzen und Wasser. Dieselben Stoffe findet man auch in der Nahrung anderer Tiere sowie des Menschen, mag diese nun aus dem Tier- oder Pflanzenreich stammen. Nur die Mengenverhältnisse der einzelnen Stoffe sind, je nach ihrem Ursprung, verschieden.

Einige dieser Stoffe sind schon an sich flüssig oder doch in dem stets reichlich vorhandenen Wasser löslich; andere dagegen sind vollkommen unlöslich. Letztere werden durch die Einwirkung der obenerwähnten Drüsensekrete in lösliche umgewandelt.[1]) Aus den Kohlenhydraten wird leicht lösliches Dextrin, Maltose und Glykose. Aus den Proteinen werden lösliche Albumosen und Peptone. Die Fette endlich werden zum Teil verseift, dann in feinste Tröpfchen zerteilt und mit den anderen Flüssigkeiten zu einer Emulsion gemischt. Während ihrer langsamen Weiterbeförderung durch den Dünndarm dringen die durch die Verdauung chemisch veränderten Stoffe in die Schleimhaut ein und werden von dort fortgeführt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Aufsaugung oder Resorption. Was der Resorption aus irgend einem Grunde entgeht, wird in den Dickdarm und schließlich bis zum After weiter befördert und aus diesem als Kot entleert.

4. Kreislauf des Blutes.

4. Um zu verstehen, wie die in die Schleimhaut eingedrungenen Stoffe aus ihr zu allen Teilen des Körpers fortgeführt werden, müssen wir von einer anderen Einrichtung Kenntnis nehmen, nämlich von der Bewegung des Blutes.

In der Brusthöhle liegt, ventral vom Darmrohre, dicht an der vorderen Brustwand ein großes Organ, das Herz. (Fig. 32, 6;

[1]) Das gilt nicht genau für das Fett und nur zum Teil für die Proteine, für die Resorption dieser Stoffe bestehen besondere Einrichtungen, von denen später die Rede sein wird. Genaueres über die Nahrungsstoffe und ihre Veränderungen s. in Kap. 10 und 17.

Fig. 33, 24—26). Es ist aus dicken Muskelfaserlagen gebildet, welche vier Hohlräume, die beiden Vorkammern und die beiden Kammern umschließen. In den Hohlräumen befindet sich eine Flüssigkeit, das Blut. Die Höhlung einer jeden Vorkammer steht mit dem Hohlraum der gleichseitigen Kammer in Verbindung; die beiden Herzhälften aber, das rechte und das linke Herz, jedes aus einer Vorkammer und einer Kammer bestehend, sind voneinander durch eine Scheidewand vollkommen getrennt. Wenn die Muskeln sich zusammenziehen, werden die von ihnen umschlossenen Hohlräume kleiner, das in ihnen enthaltene Blut wird hinausgedrängt; wenn die Zusammenziehung aufhört, werden die Hohlräume wieder größer und können sich wieder mit Blut füllen.

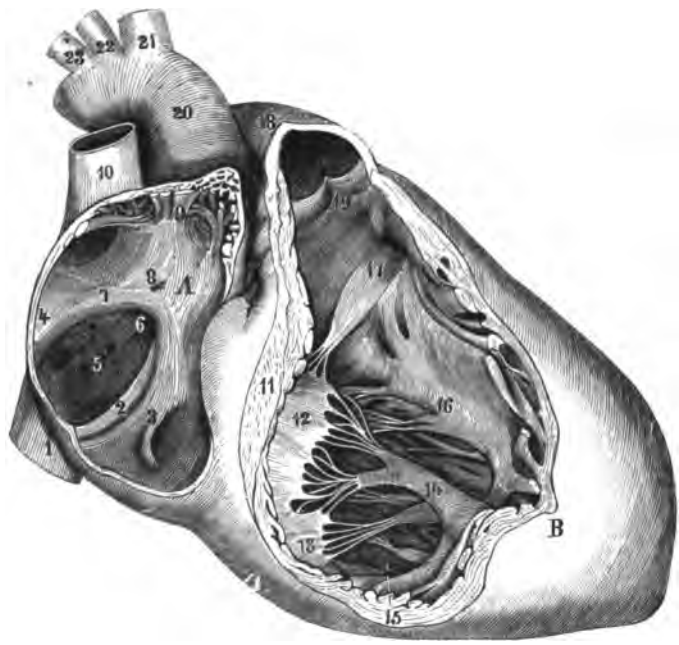


Fig. 87.

Klappenapparat des menschlichen Herzens. Der rechte Vorhof (*A*) und die rechte Kammer sind durch Entfernung eines Teiles der Herzwand eröffnet. 1 untere, 10 obere Hohlvene; 11 Wand der rechten Herzkammer; 12, 13 zwei von den drei Zipfeln der dreiteiligen Vorhofs-Kammer-Klappe; der dritte ist verdeckt. 14, 16, 17 zapfenförmig in die Herzkammer hineinragende Teile der Herzmuskulatur (Papillarmuskeln), an welche die Klappenzipfel durch sehnige Fäden angeheftet sind. Wenn der Vorhof sich zusammenzieht, kann das Blut ungehindert aus demselben zwischen den Klappenzipfeln in die Herzkammer fließen. Wenn sich die Herzkammer zusammenzieht, werden die Klappenzipfel gegeneinander gedrängt und verschließen die Öffnung. Die Sehnenfäden und ihre Befestigung an den Papillarmuskeln verhindern, dass die Klappenzipfel umgestülpt und in den Vorhof hineingedrängt werden. Man kann diese Klappenzipfel mit Schiffssegeln vergleichen; daher der Name „Segelventile". — 18 die angeschnittene) Lungenarterie, 19 deren Klappen; 20—23 Aorta mit den aus ihrem Bogen entspringenden Ästen.

Öffnen wir den Brustraum eines lebenden Kaninchens, so sehen wir, dass diese Zusammenziehung und Wiedererschlaffung der Herzmuskulatur in regelmäßiger Abwechslung stattfindet. Die Zusammenziehung der beiden Vorkammern findet gleichzeitig statt; während dieser Zeit sind die Kammern schlaff. Sowie aber die Vorkammern ihre Kontraktion beendet haben, setzt sofort die Kontraktion der beiden Kammern ein, welche auch stets gleichzeitig erfolgt. Untersuchen wir das Innere des Herzens, so finden wir an der Öffnung, welche die Vorkammer mit der Kammer verbindet, einen Klappenapparat,[1]) welcher so gestaltet ist, dass er den Eintritt des Blutes aus der Vorkammer in die Kammer gestattet, den Rücktritt aus der Kammer in die Vorkammer dagegen vollkommen verhindert. Wenn also die Vorkammern sich zusammenziehen, so treiben sie das in ihnen enthaltene Blut in die Kammern; wenn aber die Vorkammern erschlaffen und die Kammern sich zusammenziehen, kann das Blut nicht nach den Vorkammern zurück.

Aus jeder Kammer entspringt ein starkes elastisches Rohr, eine sogenannte Arterie. Auf der rechten Seite ist es die Lungenarterie (*arteria pulmonalis*), welche sich bald in zwei Äste teilt, von denen einer in die rechte, der andere in die linke Lunge eintritt. Innerhalb der Lungen teilen sich diese in immer feinere und feinere Äste, so dass die Blutströmung gleichmäßig auf die ganze Lunge verteilt wird. Aus der linken Herzkammer entspringt die Aorta, welche sich in einem Bogen nach abwärts wendet. Auf der Höhe des Bogens entspringen aus ihr einige Äste, die sich zum Hals, Kopf und der vorderen Extremitäten begeben. Der absteigende Teil der Aorta giebt seitlich gleichfalls Äste ab und teilt sich schließlich gablig in zwei gleich starke Zweige, welche das Blut in die hinteren Extremitäten leiten. Alle diese aus der Aorta hervorgehenden Arterien verzweigen sich immer feiner und feiner, so dass schließlich alle Teile des Körpers von feinsten Gefäßen durchzogen sind.

Wo die *Arteria pulmonalis* aus der rechten und die Aorta aus der linken Herzkammer entspringen, befinden sich gleichfalls Klappenapparate. Dieselben sind so angeordnet, dass sie den Austritt des Blutes aus den Herzkammern in die Arterien, nicht aber den Rücktritt desselben aus den Arterien in die Herzkammern gestatten. Wenn die Kammern sich zusammenziehen, muss das in ihnen enthaltene Blut, das, wie wir gesehen haben, nicht in die Vorkammern

---

[1]) Die Abbildungen No. 37 u. 38 stellen Präparate von menschlichen Herzen dar; das Kaninchenherz ist aber genau ebenso gebaut.

zurücktreten kann, in die Arterien getrieben werden, kann aber, wenn die Kammern erschlaffen, nicht in diese zurückgelangen.

Die Verzweigungen der Arterien werden immer dünner und dünner, so dass sie zuletzt nicht mehr mit bloßem Auge verfolgt werden können. Bei mikroskopischer Untersuchung kann man feststellen, dass aus jenen Röhren zuletzt äußerst enge, von ganz dünnen Wänden begrenzte Röhrchen, die sogenannten Haarröhrchen

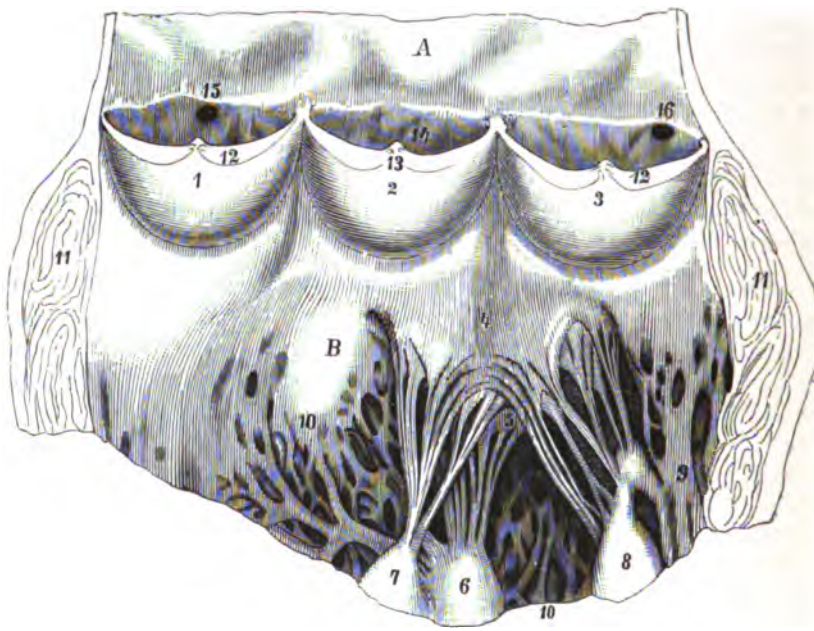


Fig. 88.

Aortenklappen. Die Aorta ist vom Herzen abgetrennt und der Länge nach aufgeschnitten, so dass die drei Klappen, welche an der zylindrischen Wand sitzen, nebeneinander in einer Ebene sichtbar sind. Sie bestehen aus Faltungen der das Innere der Herzhöhlen auskleidenden Haut. Jede Klappe ist mit ihrem unteren halbkreisförmigen Rande an der Arterienwand befestigt, während der obere (zwei kleine halbmondförmige Figuren bildende) Rand und die ganze Fläche der Klappe lose auf der Arterienwand aufliegen. Es entsteht so eine Art von Taschen, wie man sie in manchen Wagen findet (daher der Name „Taschenventile"). Wenn das Blut aus der Herzkammer in die Arterie fließt, legen sich die Klappen gegen die Arterienwand und bieten der Strömmung keinen Widerstand; wird aber der Druck in der Herzkammer kleiner als in der Arterie, so fängt sich Blut in den Taschen, drängt die Klappen in das Lumen der Arterie, so dass sich dieselben gegeneinander legen und einen vollkommen dichten Verschluss bilden.

oder Kapillaren entspringen. Diese bilden innerhalb der Organe engmaschige Netzwerke, deren Formen von der Beschaffenheit der Gewebe abhängen. Sie teilen sich vielfach und vereinigen sich wieder ohne ihre Weite zu ändern. Dann aber entspringen aus ihnen Gefäße, welche Venen genannt werden; durch Vereinigung derselben entstehen weitere Röhren, bis zuletzt ein größeres Venen-

stämmchen aus dem Organ, gewöhnlich in der Nachbarschaft der in dasselbe eintretenden Arterie, austritt (Fig. 39).

Alle Venen aus dem Rumpf und den hinteren Extremitäten laufen schließlich in einen Venenstamm, die aufsteigende Hohlvene (*vena cava ascendens*), zusammen; ebenso alle Venen aus dem Kopf, Hals und den vorderen Extremitäten in einen Stamm, die absteigende Hohlvene (*vena cava descendens*). Beide münden nebeneinander in den rechten Vorhof ein.

In ähnlicher Weise verzweigen sich die Lungenarterien innerhalb der Lungen, gehen in Kapillaren und diese in Venen über. Alle venösen Gefäße der Lunge vereinigen sich schließlich zu vier Lungenvenen, welche in den linken Vorhof einmünden.[1])

Durch die während des Lebens fortwährend stattfindenden Zusammenziehungen der Vorkammern und Kammern des Herzens wird das Blut in stetiger Bewegung innerhalb dieser Röhren oder Blutgefäße erhalten, und diese Bewegung kann wegen der Klappenapparate nur in einer Richtung erfolgen.

Aus der linken Herzkammer gelangt das Blut durch die Aorta und ihre Verzweigungen in alle Organe, durchströmt dieselben und kehrt zum rechten Vorhof zurück. Von da gelangt es in die rechte Kammer, wird aus dieser in die Lungenarterie getrieben, strömt durch die Lungen zur linken Vorkammer und von dieser wieder in die linke Kammer. Das Blut bewegt sich also in einem vollkommen geschlossenen Röhrensystem fortwährend im Kreise herum, wie das S. 278 stehende Schema (Fig. 40) zeigt. Man spricht daher auch von einem Kreislauf des Blutes. Durch den Umstand, dass zwei Stellen dieses Kreises, nämlich das rechte und das linke Herz, einander bis zur Berührung genähert und miteinander verwachsen sind, entsteht der Anschein, als ob zwei in sich geschlossene Kreise vorhanden wären. Hieraus erklären sich die Ausdrücke: großer und kleiner Kreislauf, auch Körperkreislauf und Lungenkreislauf genannt.

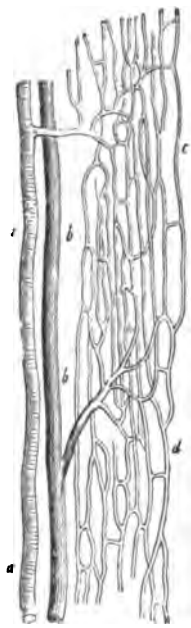


Fig. 39.
Kapillaren, aus einem quergestreiften Muskel; *a* Arterie; *b* Vene; *c*, *d* Kapillarnetz. Die (nicht in der Zeichnung dargestellten) langen Muskelfasern werden von letzteren umsponnen.

[1]) Zuweilen verschmelzen beim Kaninchen die zwei Venen, welche aus jeder Lunge kommen, zu je einer. Dann münden also nur zwei Venen in den Vorhof ein.

Die Triebkraft, welche die fortdauernde Bewegung des Blutes unterhält, wird durch die Arbeit der Herzmuskulatur geliefert. Das Herz wirkt dabei wie eine Saug- und Druckpumpe. Es saugt das Blut aus den Venen an und drückt es in die Arterien. Da die Wandungen der letzteren elastisch sind, so werden sie durch das in sie hineingetriebene Blut ausgedehnt. Die elastische Wand übt ihrerseits wieder auf das in den Röhren enthaltene Blut einen starken Druck aus. Schneidet man bei einem lebenden Tiere eine Arterie an, so spritzt deshalb das Blut mit einer gewissen Geschwindigkeit heraus. In den Venen ist dagegen der Druck sehr gering. Eine bloßgelegte Arterie kann nur unter Aufwendung einer gewissen Kraft zusammengedrückt werden; bei den Venen genügt schon ein ganz geringer Druck, um sie zusammenzudrücken und die Strömung in ihnen zu unterbrechen. Macht man diesen Versuch an einem lebenden Tier, so sieht man, dass die Arterie an der dem Herzen zugewandten Seite anschwillt, an der abgewandten Seite zusammenfällt, sich entleert; bei der Vene ist es umgekehrt. Es ist dies einer der Versuche, durch welchen der Entdecker des Blutkreislaufs, WILLIAM HARVEY (1619) den Beweis führte, dass in den Arterien das Blut vom Herzen fort, in den Venen nach dem Herzen hin strömt.

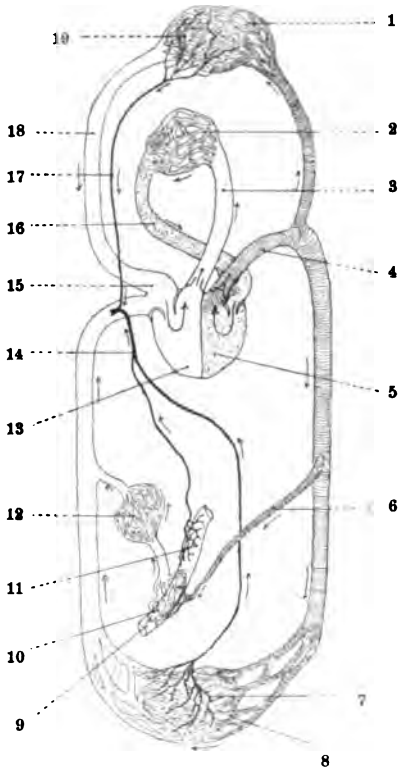


Fig. 40.

Schema des Kreislaufs bei Warmblütern. Die Aorta und ihre Verzweigungen sind schraffiert. die schwarz gezeichneten Linien stellen das später zu erwähnende Lymphgefäßsystem dar. 1 Kapillaren der vorderen (oralen) Körpergegend; 2 Lungenkapillaren; 3 Lungenarterie (enthält venöses Blut); 4 Aorta; 5 linke Herzkammer; 6 Darmarterien; 7 (schwarz) Lymphgefäße der hinteren (aboralen) Körpergegend; 8 Kapillaren derselben Gegend; 9 Darmschlauch; 10 Kapillaren des Darms; 11 (schwarz) Lymphgefäße des Darms, Chylusgefäße genannt; 12 Kapillaren der Leber, durch welche alles vom Darm kommende Blut nochmals hindurchgeht; 13 rechte Herzkammer; 14 Ductus thoracicus, Lymphstamm für die aus der aboralen Körpergegend und aus dem Darm abfließende Lymphe; 15 rechter Vorhof; 16 Lungenvene (führt arterielles Blut); 17 Lymphgang, durch welchen die aus der oralen Köpergegend stammende Lymphe abfließt; 18 obere Hohlvene; 19 Lymphgefäße der oralen Körpergegenden.

In den Arterien herrscht, solange das Herz arbeitet, ein hoher, in den Venen ein niedriger Druck. Da beide durch die Kapillaren miteinander zu-

sammenhängen, so muss das Blut durch diese hindurch von den Arterien nach den Venen strömen. Solange das Herz schlägt, wird jene Druckdifferenz immer unterhalten und damit auch die Strömung des Bluts. Wenn die Bewegungen des Herzens aufhören, dauert die Strömung noch kurze Zeit fort, bis der Druck in den Arterien und der in den Venen vollkommen gleich geworden sind. An hinreichend durchsichtigen Teilen eines lebenden Tieres, z. B. an dem Mesenterium, kann man diese Strömung bei passender mikroskopischer Vergrößerung unmittelbar beobachten. Auch die dünnen Schwimmhäute, welche zwischen den Zehen der Frösche vorhanden sind, sind gut für diese Beobachtung geeignet.

5. Das Blut ist eine sehr zusammengesetzte Flüssigkeit. Mit bloßem Auge betrachtet, erscheint es vollkommen gleichmäßig rot gefärbt und ist selbst in dünnen Schichten vollkommen undurchsichtig. Bringt man einen Tropfen Blut, wie man ihn leicht durch einen Stich oder kleinen Einschnitt etwa aus dem Ohrlöffel des Kaninchens gewinnen kann, auf eine Glasplatte, breitet ihn durch Auflegen eines zweiten, sehr dünnen Glasplättchens (eines sogenannten Deckglases) zu einer dünnen Schicht aus und betrachtet ihn bei passender Vergrößerung (etwa 500 bis 1000), so erkennt man, dass die rote Färbung durch eine sehr große Zahl flacher, kreisrunder Scheibchen, der roten Blutkörperchen, bedingt ist, welche in einer wenig gefärbten, klaren Flüssigkeit, dem Blutplasma, verteilt sind. Die Blutkörperchen sind sehr klein; der Durchmesser der Scheiben ist etwa gleich 0,006—0,007 mm, ihre Dicke etwas weniger als 0,002 mm. In einem Kubikmillimeter Blut sind etwa 4—5 Millionen derselben enthalten.[1])

5. Das Blut.

Fig. 41.
Rote Blutkörperchen des Menschen. 1200 mal vergrößert. 1 in sogenannte Geldrollen angeordnet, wie es in ruhenden Blutstropfen oft vorkommt; 2 von der Fläche; 3 von der Seite gesehen.

Zwischen den roten Blutkörperchen sieht man hie und da eine andere Art: die farblosen oder weißen Blutkörperchen oder Leukocyten. Sie sind größer als die roten und nahezu kugelig. Die Leukocyten sind weniger zahlreich als die roten Blutkörperchen.

[1]) Die Größe der roten Blutkörperchen ist bei der Mehrzahl der Säugetiere etwas geringer, die des Menschen sind etwa ebenso groß wie die des Kaninchens. Bei Vögeln, Amphibien und Fischen sind sie nicht kreisrunde, sondern elliptische Scheiben und (namentlich bei Amphibien) meistens viel größer. Von Säugetieren haben nur die Gattungen *Camelus* und *Auchenia* (Lama) elliptische Blutscheiben.

Auf 300—400 der letzteren kommt ungefähr ein Leukocyt. Sie stammen aus der später zu erwähnenden Lymphe, welche sich in das Blut ergießt und die in ihr enthaltenen Körperchen dem Blute beimischt. Da trotzdem die Zahl der Leukocyten eine begrenzte bleibt, so müssen wir annehmen, dass sie entweder auf anderen Wegen das Blut wieder verlassen oder innerhalb desselben zu grunde gehen.

Der flüssige Bestandteil des Blutes, das Plasma, besteht aus Wasser, in welchem zahlreiche Stoffe aufgelöst sind. Alles, was das Blut bei seinem Strömen durch die verschiedenen Organe des Körpers aufnimmt, findet man in ihm so lange, bis es wieder an die Organe oder durch Vermittelung der später zu erwähnenden Ausscheidungsvorrichtungen an die Außenwelt abgegeben worden ist. Das Blut ist somit der Vermittler des Stoffaustauschs zwischen allen Organen und damit auch aller der mannigfachen chemischen Vorgänge, welche in dem Tierleib sich abspielen.

6. Resorption.

6. Wir kehren nun zurück zur Betrachtung der in § 3 erwähnten Resorption. Das in fortwährender Strömung erhaltene Blut nimmt bei seinem Durchgang durch die Blutgefäße des Darms die Stoffe auf, welche innerhalb des Darmrohrs durch Einwirkung der Verdauungssäfte auf die Nahrungsbestandteile resorptionsfähig geworden sind. Die Darmschleimhaut ist an ihrer dem Darmlumen zugewandten Oberfläche mit dichtgedrängten dünnen Fortsätzen, den Zotten (*villi*), besetzt, welche wie Handschuhfinger gestaltet sind. In jede solche Zotte dringt eine kleine Arterie ein, löst sich in derselben in ein reichverzweigtes Kapillarnetz auf, aus welchem das Blut durch eine kleine Vene wieder abfließt. Durch die Zotten wird die resorbierende Oberfläche ungemein vergrößert und eine schnelle und möglichst vollständige Resorption ermöglicht. Die durch die Verdauungssäfte entstandenen, leicht löslichen und diffusiblen Stoffe gelangen, nachdem sie in die Darmwand eingedrungen sind, durch Diffusion in das die Zotten durchströmende Blut und werden mit demselben fortgespült. Das aus dem Darmschlauch abfließende Blut passiert die Leber, in welcher es gewisse chemische Veränderungen erleidet, gelangt dann in das rechte und nach Durchströmung der Lunge in das linke Herz, von wo es durch die Aorta und ihre Verzweigungen in alle Teile des ganzen Körpers geführt wird.

Aber nicht alle Stoffe der Nahrung werden auf diese Weise resorbiert. Namentlich die Fette und ein Teil der anderen Nahrungsstoffe, welche nicht vollkommen diffusibel geworden sind, können nicht durch die Wände der Kapillaren hindurchdringen, also nicht ins Blut gelangen. Untersucht man die Zotten eines Tieres einige Stunden nach einer reichlichen Fettfütterung, so findet man den

im Innern der Zotte gelegenen Hohlraum mit feinsten Tröpfchen von Fett erfüllt. Diese Tröpfchen sind durch die Wandungen der Zotten hindurch, an den Kapillaren vorbei bis in jenen Hohlraum gelangt und werden von hier aus durch eigene Gefäße, die sogenannten Chylusgefäße, abgeführt. Die Chylusgefäße vereinigen sich mit den später zu besprechenden Lymphgefäßen, welche alle in die Venen nahe dem Herzen einmünden. So gelangt also das Fett und manches, was sonst noch der Resorption durch die Blutkapillaren sich entzogen hat, auf einem anderen Wege gleichfalls ins Blut.

Die aus der Nahrung stammenden resorbierten Stoffe werden durch das Blut allen Körperteilen zugeführt. Sie können dort zur Vermehrung der vorhandenen Massen führen, so dass die Organe zunehmen oder wachsen. Da alle Nahrungsmittel Gemenge von Kohlenhydraten, Fetten, Proteinen, Salzen und Wasser sind und dieselben Stoffe auch die Grundbestandteile aller lebendigen Substanz ausmachen, so können die aus der Nahrung stammenden, durch das Blut den Organen zugeführten Stoffe zu Bestandteilen der Organe werden. Wie dieses Wachstum zu stande kommt, soll an anderer Stelle erörtert werden.

Gleichzeitig mit den Nahrungsbestandteilen wird den Organen durch das Blut fortwährend Sauerstoff zugeführt. Alles Blut geht, wie wir sahen, durch die Lungen und kommt hier in ausgiebige Berührung mit der im Innern der Lunge befindlichen Luft, aus welcher es Sauerstoff aufnimmt. Hierbei spielen die roten Blutkörperchen eine wichtige Rolle. Der in ihnen enthaltene rote Farbstoff, das Hämoglobin, hat nämlich die Eigenschaft, leicht Sauerstoff aufzunehmen und wieder leicht abzugeben (vgl. Kap. 8, § 16 u. Kap. 10, § 18). Kommt das in den Lungen sauerstoffreich gewordene Blut in die Organe, so giebt es einen Teil seines Sauerstoffes ab, wodurch die chemischen Prozesse, von denen gleich die Rede sein wird, zu stande kommen.

Was von den durch das Blut zugeführten Stoffen nicht in den Geweben des Körpers zurückgehalten wird, gelangt mit dem Venenblut wieder zum Herzen. Aber auch alles, was durch die chemischen Prozesse innerhalb der Gewebe gebildet wird, kann, soweit es löslich und diffusibel ist, wieder in das Blut, während dieses durch die Gewebe fließt, übertreten. Andere Stoffe gelangen aus den Geweben in die Lymphgefäße.

7. Lymphe und Lymphgefäße.

7. Aus allen Organen entspringen Lymphgefäße, ähnlich denen, die wir bei den Zotten des Dünndarms unter dem Namen Chylusgefäße erwähnt haben. Wir können uns die Organe mit ihren Blutgefäßen unter dem Bilde einer wohlbewässerten Wiese vorstellen.

Von einem Bache oder Flusse gehen Wassergräben ab, welche sich in ein fein verzweigtes Netz von Gräben verteilen. Diese entsprechen den Arterien; sie führen dem Erdreich Wasser und die in diesem gelösten, für den Pflanzenwuchs notwendigen Stoffe zu. Ihnen verdankt es die Wiese, dass sie reichlich Gras produzieren kann. Das Wasser und jene gelösten Stoffe treten aus den Gräben in die Interstitien der Wiesenkrume und gelangen so zu den Wurzeln der Pflanzen, von denen sie aufgenommen und zum Wachstum der Pflanze verwendet werden. In gleicher Weise dringt ein Irrigationsstrom von Wasser und in diesem gelösten Stoffen aus den Blutgefäßen in die Interstitien der Gewebe, aus denen die Organe bestehen, und dient zu ihrer Ernährung. Der Überschuss des Wassers, welchen die Pflanzen der Wiese nicht aufzunehmen vermögen, wird durch ein System von Drainröhren, welche in der Tiefe des Wiesengrundes angeordnet sind, abgeführt. Diesen Drainröhren entsprechen im Tierkörper die Lymphgefäße. Und wie die Drainröhren weiter thalabwärts, an einer tiefer gelegenen Stelle, wieder in den Fluss einmünden, so münden die Lymphgefäße nahe dem Herzen, wo der hydrostatische Druck sehr niedrig ist, wieder in die Blutbahn ein. So wird also dem Blute alles, was es an die Gewebe abgegeben hat, und das, was in diesen entstanden ist, wieder zugeführt. Nur das, was durch Anlagerung in den Körperteilen festgehalten worden ist, bleibt, wenigstens für einige Zeit, im Tierkörper.

8. Stoffwechsel.

8. In allen Teilen des Körpers kommen also die aus der Nahrung stammenden Stoffe (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) und der aus der Atmosphäre stammende Sauerstoff zusammen. Innerhalb der Gewebe findet Vereinigung des Sauerstoffes mit den Bestandteilen der Gewebe statt; die Gewebsstoffe werden oxydiert oder verbrennen. Dabei wird kinetische Energie frei, welche zum Teil in Gestalt von Wärme (das Kaninchen hat, trotzdem es fortwährend Wärme an seine Umgebung abgiebt, doch stets eine Temperatur von rund 38°, es ist ein warmblütiges Tier), zum Teil in Gestalt mechanischer Bewegung auftritt. Die Verbrennungsprodukte werden von dem Blute fortgeführt und an anderen Stellen aus dem Körper ausgeschieden.

Kohlenhydrate und Fette bestehen aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff; die Proteine enthalten außerdem noch Stickstoff. (Vgl. Kap. 10.) Indem diese Stoffe noch mehr Sauerstoff aufnehmen, entstehen als letzte Endprodukte: Kohlendioxyd, Wasser und eine Anzahl stickstoffhaltiger Körper, als deren Typus wir den Harnstoff ansehen können. Das Kaninchen nimmt während seines ganzen Lebens Kohlenhydrate, Fette und

Proteine durch die Nahrung und Sauerstoff durch die Lunge auf und giebt fortwährend Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff ab. Es geht also in ihm ein Wechsel der Stoffe vor sich; die in jedem Augenblicke seine Körpermasse ausmachenden Stoffe unterliegen einem fortwährenden Oxydationsprozess; die Oxydationsprodukte werden entfernt. Der Stoffwechsel sowohl, wie die Oxydation werden durch den stetigen Kreislauf des Blutes in Gang gehalten.

9. Atmung.

9. Den Verlust an Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten ersetzt das Blut aus den Nahrungsstoffen durch Resorption im Darmkanal, den Verlust an Sauerstoff durch Aufnahme desselben in den Lungen. Die in den Geweben aufgenommenen Stoffe giebt das Blut in den sogenannten Ausscheidungsorganen wieder ab. Die Abgabe des Kohlendioxyds erfolgt fast ausschließlich in den Lungen gleichzeitig mit der Aufnahme von Sauerstoff.

Betrachten wir den Thorax eines lebenden Säugetiers, so bemerken wir, dass derselbe abwechselnd erweitert und verengert wird. Die in dem Thorax luftdicht eingeschlossenen elastischen Lungen machen diese Bewegungen mit. Sie stellen zwei hohle Säcke dar, welche durch zahlreiche Einstülpungen in eine große Anzahl kleiner Bläschen, die Alveolen, abgeteilt sind. Die durch Mund und Nase mit der äußeren Luft zusammenhängende Trachea teilt sich zuerst in zwei Hauptäste, einen für die rechte und einen für die linke Lunge; jeder dieser Äste verzweigt sich innerhalb der Lungen in immer feinere und feinere Zweige, bis zuletzt jedes dieser feinen Röhrchen in eine Alveole einmündet. Da bei Erweiterung des Thorax auch jede Alveole weiter wird, so wird dabei etwas von der äußeren Luft eingesogen und mischt sich mit der in den Alveolen enthaltenen Luft. Wenn dann der Brustkorb wieder enger wird, so verkleinern sich auch die Alveolen; ein Teil des Luftgemenges wird wieder ausgetrieben. Ersteren Vorgang nennt man Einatmung, letzteren Ausatmung. Die während des Lebens fortwährend vor sich gehenden Atembewegungen bewirken also, dass die Luft der Alveolen nicht allzu arm an Sauerstoff und allzu reich an Kohlendioxyd wird, so dass aus dieser Luft fortwährend Sauerstoff an das Blut abgegeben, Kohlendioxyd aus dem Blut aufgenommen werden kann. Dabei geht zugleich eine bemerkenswerte Farbenveränderung in dem Blute vor. Das vom rechten Herzen zur Lunge strömende Blut ist dunkelrot mit einem Stich ins Blaue, das aus der Lunge abfließende Blut, welches an Sauerstoff reicher und an Kohlendioxyd ärmer geworden ist, sieht hell-scharlachrot aus. Diese Färbung behält das Blut bei seinem Durchgang durch das linke Herz und die Arterien; wenn es dann die Körperkapillaren

durchströmt, in denen es Sauerstoff verliert und Kohlendioxyd aufnimmt, wird es wieder dunkel und fließt so durch die Venen und das rechte Herz bis zu den Kapillaren der Lunge.

Die fortwährende Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd nennt man Atmung. Wenn die umgebende Luft nicht genug Sauerstoff enthält, oder wenn durch Störung der Atembewegungen die Aufnahme des Sauerstoffs in den Alveolen nicht in genügendem Maße vor sich gehen kann, dann ist das Leben gefährdet: das Tier stirbt an Erstickung.

Auch etwas Wasser in Form von Wasserdampf wird zugleich mit dem Kohlendioxyd in den Lungen abgegeben. Viel mehr Wasser aber verlässt den Körper durch die Haut und die Nieren.

10. Exkretionsdrüsen.

10. In der Haut aller Säugetiere findet man verschiedene Drüsen, welche mit den in der Schleimhaut des Darmrohrs vorkommenden insofern verglichen werden können, als auch sie Stoffe von bestimmten chemischen Eigenschaften ausscheiden. Drüsen sind einfache oder verzweigte Röhren mit sehr dünner Wand (der Grundmembran); innerhalb der Röhren liegen Drüsenzellen.[1]) Das eine Ende der Röhre ist häufig kolbig aufgetrieben und stets geschlossen; wir nennen es den Drüsengrund. Das andere offene Ende heißt Ausführungsgang. Die Drüsen liegen in oder unter den betreffenden Häuten, in denen sie vorkommen; in letzterem Falle durchbohren ihre Ausführungsgänge, welche zum Teil eine beträchtliche Länge haben, die darüber liegenden Teile, um an der Oberfläche oder in einen Hohlraum zu münden.

Die im Innern der Röhre gelegenen Drüsenzellen haben die Fähigkeit, aus den ihnen zugeführten Stoffen einzelne an sich zu reißen, sie zum Teil chemisch zu verändern und die so erzeugten Stoffe durch den Ausführungsgang zu entleeren. Die chemische Thätigkeit ist für jede Drüse eine ganz spezifische. Das Rohmaterial wird den Drüsen durch das Blut zugeführt. Deshalb sind alle Drüsen reichlich mit Blutgefäßen versehen, welche die Grundmembran in einem dichten Kapillarnetze umspinnen.

Die Thätigkeit der Drüsen bezeichnet man als Absonderung oder Sekretion, die Stoffe, welche von den Drüsen abgesondert werden, als ihre Sekrete. Wir müssen zwei Arten von Drüsen unterscheiden. Bei den einen, z. B. den von uns früher erwähnten Verdauungsdrüsen, werden die Sekrete in den Darmkanal ergossen, wo sie ihre spezifische Wirkung auf die Nahrungsstoffe ausüben, dieselben löslich und resorbierbar machen. Bei den anderen Drüsen dagegen werden die in ihnen bereiteten Stoffe nach außen ent-

[1]) Genaueres über Drüsen s. im Kap. XIII.

leert, aus dem Körper entfernt. Um diesen Unterschied auch in der Bezeichnung auszudrücken, wollen wir fortan die Ausdrücke: sezernieren, Sekret, sekretorische Drüsen nur auf die Drüsen der ersten Art anwenden, die anderen aber exkretorische Drüsen und die von ihnen abgesonderten Stoffe Exkrete nennen.[1])

In der Haut der Säugetiere finden sich zwei Arten exkretorischer Drüsen: 1. Schweißdrüsen, welche ein sehr wässriges, nur wenig feste Stoffe in Lösung enthaltendes Exkret, den Schweiß, absondern; 2. Talgdrüsen, deren Exkret neben Wasser und einigen in diesem gelösten Stoffen sehr viel Fett beigemischt enthält und daher eine schmierige Beschaffenheit hat. Bei den behaarten Säugetieren sind die Schweißdrüsen weniger zahlreich als in der Haut des Menschen; sie sind fast nur auf die kahlen Stellen, Fußballen u. dergl. beschränkt, beim Kaninchen fast nur auf die Lippen.

Die wichtigsten exkretorischen Drüsen sind die Nieren, paarige Organe, welche in der Bauchhöhle liegen (s. Fig. 42, S. 286.). In ihnen wird der Harn bereitet, eine wässerige, beim Kaninchen oft etwas trübe Flüssigkeit, bestehend aus Wasser, in welchem zahlreiche Stoffe gelöst sind. Der wichtigste unter diesen ist der Harnstoff, welcher bei der Oxydation der Proteine entsteht und fast ausschließlich mit dem Harn ausgeschieden wird[2]). Der Harn gelangt aus den Nieren durch die Harnleiter oder Ureteren in die Harnblase, aus welcher er durch die Harnröhre nach außen entleert wird.

Durch die Lungen, die Haut und die Nieren entledigt sich also das Blut aller der Stoffe, welche in den verschiedenen Organen als Produkte der dort vor sich gehenden Lebensprozesse entstanden und von dem Blut bei seinem Durchgang durch die Organe aufgenommen worden sind. Das gasförmige Kohlendioxyd und etwas Wasserdampf werden durch die Lungen abgeschieden; die Haut giebt wenig Kohlendioxyd und neben den fettigen Bestandteilen des Hauttalgs etwas mehr Wasser und, in diesem gelöst, auch sehr geringe Mengen von Harnstoff ab; der Rest des Wassers und fast der gesamte Harnstoff nebst vielen anderen in dem Wasser gelösten Stoffen (darunter auch etwas Kohlendioxyd, teils frei,

[1]) Einige dieser exkretorischen Drüsen scheiden Stoffe aus, welche beim Stoffwechsel entstanden sind, und welche, wenn sie im Körper zurückbleiben würden, schädlich für denselben wären. Sie sind exkretorische Drüsen im strengsten Sinne. Die Ausscheidungen der anderen haben noch einen gewissen Nutzen für das Individuum oder dienen der Fortpflanzung oder der Nachkommenschaft, z. B. die Milchdrüsen. Diese Drüsen nehmen eine Art Mittelstellung zwischen den sekretorischen und den exkretorischen ein.

[2]) In geringen Spuren kommt er auch im Schweiß vor.

teils in Karbonaten) wird durch die Nieren aus dem Tierkörper entfernt.

11. Nervensystem. 11. Die mannigfachen Vorgänge, welche wir bis hierher geschildert haben, werden gleichsam geleitet und in Gang gehalten durch den Einfluss des Nervensystems. Dasselbe besteht aus dem

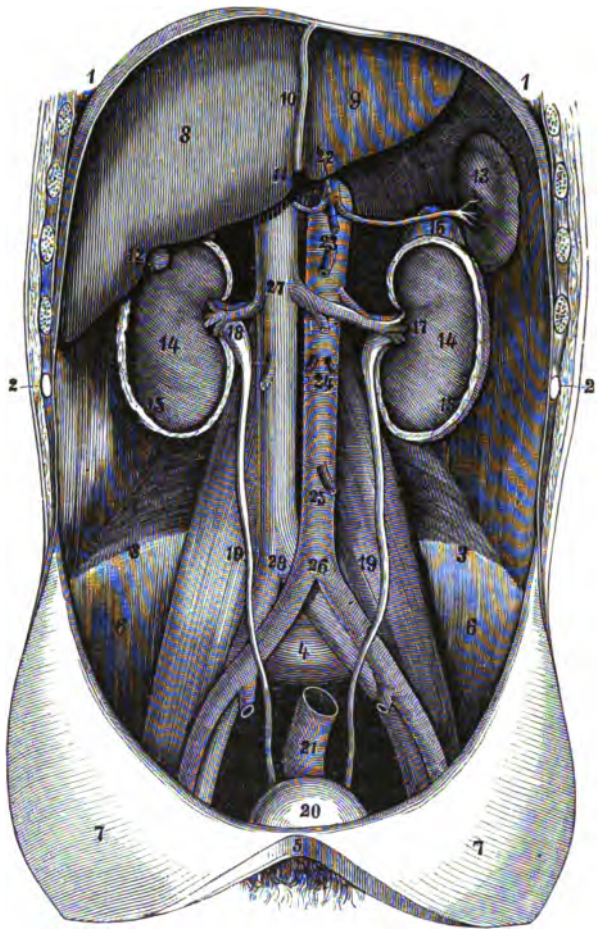


Fig. 42.

Bauchhöhle des Menschen, vorn eröffnet, nach Entfernung des Darms. 1 Zwerchfell; 2 die elfte Rippe; 3 oberer Rand des Hüftbeins; 4 Kreuzbein; 5 Zusammenfügung der Hüftbeine; 6 schaufelförmiger Teil des Hüftbeins; 7 unterer Teil der vorderen Bauchwand; 8, 9 rechter und linker Leberlappen; 10, 11 Befestigungsbänder der Leber; 12 Gallenblase; 13 Milz; 14 Niere; 15 Fettkapsel derselben; 16 Nebenniere; 17 Eintrittsstelle der Nierengefäße (Hilus); 18 Nierenbecken, von welchem der Harnleiter (19) den abgesonderten Harn in die Harnblase (20) führt; 21 Mastdarm; 22—25 Ursprünge der Arterien für die (größtenteils entfernten) Baucheingeweide; 26 Teilung der Bauchaorta in die beiden Hüftarterien; 27 untere Hohlvene und Einmündung der Nierenvenen in dieselbe.

Centralnervensystem, welches sich aus Rückenmark, Gehirn und den beiden Strängen des Sympathikus zusammensetzt, und den von diesen ausgehenden peripherischen Nerven. Letztere sind feine Fasern, welche, in Bündel vereinigt, vom Centralnervensystem abgehen. Die Faserbündel teilen sich nach und nach, bis zuletzt einzelne, nur mikroskopisch sichtbare Nervenfasern vorhanden sind. Diese dringen in alle Organe ein und endigen in ihnen in verschiedener Weise. Die Nerven zeichnen sich durch eine Eigenschaft aus, welche allen lebenden Substanzen zukommt, aber in den Nerven auf das höchste entwickelt ist, nämlich die Reizbarkeit. Außerordentlich schwache mechanische, elektrische und andere Einwirkungen vermögen in ihnen Veränderungen hervorzubringen, welche zwar äußerlich nicht sichtbar sind, wohl aber durch die Wirkungen erkannt werden, welche sie auf die mit den Nerven verbundenen Organe auszuüben vermögen. Ein Teil dieser Nervenfasern tritt in die Muskeln ein. Um ihre Wirkung etwas genauer kennen zu lernen, spalten wir bei einem lebenden Kaninchen (nachdem wir dasselbe durch Einspritzung einer Morphinlösung in tiefen Schlaf versetzt haben) die Haut des Oberschenkels durch einen Längsschnitt. Wir finden zwischen den dort gelegenen Muskeln einen Nervenstamm, welcher Zweige an die Muskeln des Ober- und Unterschenkels abgiebt. Wenn wir denselben (möglichst hoch oben) durchschneiden, sehen wir eine zuckende Bewegung im Bein und Fuß. Es ist dies eine Folge der Zusammenziehung von Muskeln, mit welchen der Nerv in Verbindung ist, hervorgerufen durch die Wirkung des durch den Schnitt mechanisch gereizten Nerven auf diese Muskeln. Wenn wir das zu den Muskeln gehende (untere oder periphere) Ende des Nerven auf zwei Drähte legen und durch diese elektrische Ströme dem Nerven zuleiten, können wir die Muskelzuckungen wiederholt hervorrufen.

Wir lernen aus diesem Versuch, dass es Nerven giebt, deren Reizung Zusammenziehung von Muskeln und dadurch Bewegungen der mit den Muskeln zusammenhängenden Knochen hervorruft. Man nennt sie deshalb motorische oder Bewegungsnerven. Alle Muskeln des Körpers sind mit solchen Nerven versehen, auch diejenigen, welche nicht mit Knochen verbunden sind, wie die Muskeln der Eingeweide. In gleicher Weise sind Nerven mit den Drüsen verbunden; werden sie gereizt, so veranlassen sie die Sekretion der Drüsen. Man nennt sie daher sekretorische Nerven. Wodurch aber erhalten die Nerven die zu ihrer Wirkung erforderlichen Reize?

Um dies zu erfahren, müssen wir abwarten, bis der durch das Morphin hervorgerufene Schlaf vorüber ist. Wenn wir nach Durchschneidung des Nerven die Wunde verschließen und später das Tier

beobachten, nachdem es wieder vollkommen munter geworden ist, bemerken wir, dass beim Gehen oder Hüpfen das Bein, an welchem der Nerv durchschnitten worden ist, ungeschickt bewegt wird. Ein Teil der Muskeln des Beines u. z. diejenigen, welche mit dem durchschnittenen Nerven zusammenhängen, sind, wie der Kunstausdruck lautet, gelähmt. Wir sehen also, dass alle Reize oder Erregungen, welche beim unversehrten Tiere durch die Nerven den Muskeln zugeleitet werden, von etwas kommen müssen, mit dem die Nerven an ihren oberen oder centralen Enden zusammenhängen. Dieses „Etwas" ist das Centralnervensystem. Diesen Schluss können wir durch einen neuen Versuch bestätigen. Wenn wir bei einem Tiere das Centralnervensystem zerstören, so erscheinen alle Muskeln[1]) gelähmt und alle willkürlichen Bewegungen hören auf.

Dem Centralnervensystem müssen wir daher die Eigenschaft zuschreiben, dass in ihm aus Ursachen, die wir vorläufig noch unerörtert lassen, Reizungen oder Erregungen entstehen, welche durch die peripheren Nerven den Muskeln zugeleitet werden und diese zu Zusammenziehungen veranlassen. Die Beobachtung des Tieres, an welchem wir den Nerven des einen Beins durchschnitten haben, lehrt uns aber noch etwas anderes. Wenn wir das Tier an irgend einer Stelle seines Körpers kneifen, mit einem heißen Draht berühren oder sonstwie stark auf seine Körperoberfläche einwirken, so zeigt es durch sein Benehmen, dass es Schmerz empfindet; es schreit, sucht zu entfliehen, zieht das gereizte Glied fort u. dgl. Wenn wir aber dasselbe an der Pfote des Beines, dessen Nerven durchschnitten sind, thun, so bleibt jede Wirkung aus. Nun lehrt die mikroskopische Untersuchung, dass in dem Nerven, den wir durchschnitten haben, neben den motorischen Fasern, welche zu den Muskeln gehen, andere enthalten sind, welche zur Haut ziehen und dort endigen. Es liegt also nahe anzunehmen, dass durch diese die Empfindungen vermittelt werden. Auch diese Vermutung wird durch weitere Versuche bestätigt. Wir nennen diese zweite Art von Nerven sensible oder Empfindungsfasern.[2])

Auch diese sind nur die Vermittler oder Leiter der Erregungen;

---

[1]) Mit Ausnahme derer des Herzens und der Baucheingeweide, deren Erregungsorgane in ihnen selbst gelegen sind. Der Versuch wird besser an einem Frosch ausgeführt, weil dieser die eingreifende Operation länger überlebt.

[2]) In dem Nerven des Kaninchens, an welchem wir den Versuch angestellt haben, liegen beide Arten von Nervenfasern; er ist ein gemischter Nerv. Es giebt aber auch Nerven, welche nur eine Art von Fasern enthalten, welche nur motorisch oder nur sensibel sind. Gewisse sensible Nerven, die zu bestimmten Organen, dem Auge, dem Ohr u. s. w. gehen, veranlassen, wenn sie gereizt werden, bestimmte Arten von Empfindungen: Licht-, Schallempfindungen u. s. w. Man nennt sie deshalb sensorische oder Sinnesnerven.

die Empfindung selbst kommt erst in den Centralorganen des Nervensystems zustande.

Dass auch schwächere Reize, leiser Druck der Haut, Streicheln etc., ebenso Licht- und Schalleindrücke Empfindungen hervorrufen, welche nicht mit Schmerz verbunden sind, dürfen wir nach dem Benehmen des Versuchstieres vermuten. Aber Genaueres können wir durch Beobachtung und Versuche an Tieren über die Empfindungen nicht feststellen. Wir kennen diese Vorgänge besser aus den Erfahrungen, welche wir an uns selbst fortwährend zu machen Gelegenheit haben, und wissen, dass mit den Empfindungen weiterhin Vorgänge des Bewusstseins, zuweilen Schmerz- oder Lustgefühle und andere sogenannte psychische oder Seelenvorgänge sich verbinden. Dass auch bei Tieren Ähnliches vor sich gehen kann, schließen wir aus den Folgen,welche Berührung der Haut, Schall- oder Lichteindrücke bei ihm hervorbringen. Mit dieser oberflächlichen Einsicht müssen wir uns vorerst begnügen.

Neben den sogenannten willkürlichen Bewegungen kommen im Centralorgan auch noch andere Erregungen zu stande, die wir als unwillkürliche bezeichnen, da sie, wie wir aus eigener Erfahrung wissen, vor sich gehen, ohne dass uns vorher ein Willensakt zum Bewusstsein gekommen ist. Als Beispiel hierfür nenne ich die Atembewegungen. Wird eine bestimmte Stelle des Centralnervensystems zerstört, so hören alle Atembewegungen auf. Dass aber die Erregung von Bewegungen auch außerhalb des eigentlichen Centralnervensystems zu stande kommen kann, zeigt sich am Herzen, welches noch regelmäßig weiter schlägt, wenn auch das Centralnervensystem vollkommen zerstört wird, oder wenn das Herz ganz aus dem Tierkörper entfernt ist.[1])

Unwillkürliche Bewegungen kommen auch infolge von Reizungen sensibler Nerven vor. Wenn wir z. B. das durch eine Linse konzentrierte Licht einer Lampe in das Auge unseres Kaninchens fallen lassen, sehen wir eine Verengerung der Pupille; beschatten wir das Auge, so erweitert sich dieselbe. Streichen wir sanft die Wange des Kaninchens, so richtet sich der Ohrlöffel derselben Seite auf, um wieder nach hinten zurückzusinken, sobald die Erregung der Gefühlsnerven aufhört. Wir bezeichnen diese Bewegungen als Reflexe; sie kommen dadurch zu stande, dass die in den sensiblen Nerven hervorgerufene Erregung zum Centralorgan geleitet und dort auf motorische Nerven übertragen wird. Wie wir aus analogen Erfahrungen an uns selbst wissen, geschieht diese Übertragung ganz unabhängig davon, ob die Erregung der sensiblen Nerven gleich-

[1]) Allerdings nur kurze Zeit. Länger lässt sich das Schlagen des ausgeschnittenen Herzens bei kaltblütigen Tieren, z. B. beim Frosch, beobachten.

zeitig eine bewusste Empfindung veranlasst oder nicht. Die Reflexbewegungen haben häufig den Charakter des Zweckmäßigen und dienen nicht selten zur Abwehr von Schädlichkeiten.

Aus dem allen geht hervor, dass durch das Centralnervensystem nicht nur die Beziehungen des Tieres zur Außenwelt geregelt, sondern dass auch die einzelnen Vorgänge im Innern des Körpers durch seine Vermittelung miteinander in Übereinstimmung gebracht werden, was für einen ordentlichen und zweckmäßigen Ablauf der einzelnen Lebensvorgänge von großer Wichtigkeit ist. Erst durch das Nervensystem wird ein Tier befähigt, den mannigfachen Anforderungen, welche das Leben stellt, gerecht zu werden. Durch Vermittelung des Nervensystems fühlt es Hunger und Durst und sucht Nahrung. Durch das Nervensystem werden die Muskeln in Thätigkeit versetzt, durch welche die Nahrung ergriffen, gekaut, verschluckt und im Darm fortgeschoben wird. Das Nervensystem regelt die Thätigkeit des Herzens, unterhält damit den regelrechten Kreislauf des Bluts, veranlasst und regelt die Atembewegungen, durch welche der zum Leben notwendige Sauerstoff aufgenommen, das im Körper entstandene Kohlendioxyd entfernt wird. Das Nervensystem veranlasst auch die Thätigkeit der Drüsen, sowohl der exkretorischen wie der sekretorischen. Es vermittelt endlich die Beziehungen des Tieres zur Außenwelt, die Empfindungen und die sich aus ihnen ergebenden psychischen Vorgänge.

Um diese Übersicht über die Lebenserscheinungen des Kaninchens zu vervollständigen, muss ich noch, wenn auch ganz kurz, an einige wichtige Thatsachen erinnern. Was wir bisher beobachtet haben, bezog sich auf ein ausgewachsenes Tier. Wir wissen aber, dass es nicht immer in diesem Zustand war. Es wurde geboren und wuchs bis zu seiner jetzigen Größe; es bleibt eine Zeit lang auf diesem Stand und stirbt dann, sei es durch einen gewaltsamen Eingriff von außen, sei es durch eine Krankheit oder ohne äußere Veranlassung an Altersschwäche.[1]) Seiner Geburt ging eine Entwickelung innerhalb des Mutterleibs vorher. Die Entwickelungsgeschichte lehrt, dass das Tier aus einem Ei entstanden ist, welches sich vielfach teilte; aus den Teilstücken (Zellen) sind alle Gewebe und Organe hervorgegangen. Damit die Entwickelung zu stande kommen konnte, musste das Ei befruchtet werden. Die Art, wie die Befruchtung erfolgt, und die Vorgänge der Entwickelung sind bei den Lebewesen sehr verschieden. Sie lassen sich an manchen leichter verfolgen als bei Säugetieren. Die Thatsache selbst aber, dass jedes individuelle Lebewesen eine begrenzte Lebensdauer hat, während der Bestand der Art durch das fortwährende Entstehen neuer Indivi-

[1]) Die Lebensdauer der Kaninchen soll 7—8 Jahre betragen.

duen für lange Zeit gesichert ist, finden wir bei allen Lebewesen immer wieder bestätigt.

Die kurze, übersichtliche Betrachtung der Physiologie des Kaninchens hatte den Zweck, die Lebenserscheinung in ihren Grundzügen erkennen zu lehren. Auf eine tiefere Einsicht in das Wesen der Vorgänge mussten wir verzichten. Es kam uns nur darauf an, einen Überblick über die Art der Aufgaben zu gewinnen, mit denen die Physiologie sich zu befassen hat. Obgleich es viele Lebewesen giebt, bei denen die Lebensvorgänge sich auf andere Art abspielen, so werden wir doch finden, dass die Grunderscheinungen des Lebens bei allen Lebewesen in sehr ähnlicher Weise verlaufen. Aufgabe der Einzelforschung ist es, alle Erscheinungen soweit zu verfolgen, als es mit den wissenschaftlichen Methoden der Gegenwart möglich ist; in der allgemeinen Physiologie dagegen kommt es uns vor allen Dingen darauf an, die den Lebenserscheinungen gemeinsamen Grundzüge möglichst klar zu erkennen und ihren Zusammenhang untereinander, sowie mit den Erscheinungen der unbelebten Natur aufzuhellen.

Zwölftes Kapitel.

Organismen und einfachste Lebewesen.

1. Organismen. 1. Was wir im vorigen Kapitel von den Lebenserscheinungen eines Säugetieres kennen gelernt haben, legt einen zutreffenden Vergleich nahe. Das Tier verhält sich ähnlich wie eine verwickelte Maschine oder noch mehr wie eine große Fabrik. Hier wie dort werden Stoffe eingeführt und verarbeitet, die erzeugten Produkte werden ausgeführt, wobei zugleich infolge der in der Fabrik wie in dem Tier ablaufenden Prozesse bestimmte Leistungen zu stande kommen. Die mannigfaltigen hierzu nötigen Verrichtungen sind im Tier auf verschiedene Organe verteilt, ähnlich wie in einer Fabrik verschiedene Maschinen den einzelnen Teilen des Fabrikbetriebes dienen. In beiden sind die Leistungen des Ganzen um so vollkommener, je besser die Organe oder die Maschinen für die von ihnen zu besorgenden Verrichtungen geeignet sind. Durch die größere Ausbildung spezieller Organe für spezielle Leistungen unterscheidet sich das Säugetier von andern Lebewesen, bei welchen die Lebenserscheinungen in anderer Weise auf eine größere oder geringere Zahl von Organen verteilt sind. Es giebt aber auch Lebewesen, bei welchen verschiedenartige Organe gar nicht vorhanden, bei denen vielmehr in einem einzigen, den Leib des Lebewesens darstellenden Gebilde alle Lebenserscheinungen vereinigt sind. Man nennt solche Organismen einfache; sie sind es auch im morphologischen Sinne, da ihr Leib morphologisch einer einzelnen Zelle eines zusammengesetzten Lebewesens entspricht. Aber physiologisch sind sie es viel weniger; denn in dieser einen Zelle spielen sich sehr viel verschiedene Vorgänge gleichzeitig ab, welche bei den komplizierten Lebewesen auf verschiedene Organe verteilt sind. Das Studium der Lebenserscheinungen an einfachen Lebewesen bietet viele Schwierigkeiten; es ergänzt aber in manchen Beziehungen das an den komplizierten Wesen Erkannte, weil gewisse Vorgänge an den einfachen Wesen unmittelbar wahrgenommen werden, und weil aus dem so Beobachteten Schlüsse auf die Art des Entstehens der speziellen Verrichtungen der Organe gezogen werden können.

Ein jedes Organ eines komplizierten Tieres, wie es beispielsweise das Kaninchen ist, hat eine ganz bestimmte Verrichtung zu erfüllen, es hat, wie der physiologische Kunstausdruck lautet, eine bestimmte Funktion. Die Funktionen der einzelnen Organe greifen ineinander ein. Die Störung eines derselben hat nicht selten Störungen in andern zur Folge. Aus diesem Grunde stellt ein solches Tier eine unteilbare Einheit dar, es ist ein Individuum. Weil aber dieses Individuum aus einer großen Zahl von Organen zusammengesetzt ist, nennen wir es einen Organismus.

Den Organismen können wir die von Menschenhand gemachten, zum Teil auch sehr komplizierten und aus vielen ineinander greifenden Teilen bestehenden Maschinen als Mechanismen gegenüberstellen und können untersuchen, worin sie übereinstimmen und worin sie voneinander verschieden sind. Zwischen einem Tier und einer Dampfmaschine z. B. bestehen viele Analogieen. Bei beiden werden kohlenstoffhaltiges Material und Sauerstoff eingeführt und die daraus entstehenden Produkte ausgeführt; bei beiden wird die Energie der Lage, welche in der chemischen Verwandtschaft zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff gegeben ist, in kinetische Energie umgewandelt, die in Form von mechanischer Arbeit und Wärme auftritt. Wie der Organismus aus Organen, so ist der Mechanismus aus einzelnen Hebeln, Rädern u. s. w. zusammengesetzt, durch deren Ineinandergreifen und Zusammenwirken die Gesamtwirkung des Ganzen bedingt ist. Darum ist es auch möglich, Mechanismen zu konstruieren, welche in vielen Stücken die Erscheinungen der Organismen, wenn auch nur in oberflächlicher Weise, nachahmen, wie dies bei den sogenannten Automaten der Fall ist.[1])

2. Vergleichen wir ein Wirbeltier mit einem Krebs oder einer Schnecke, so finden wir, dass nicht nur die äußeren Formen, sondern auch zum Teil die Organe und ihre gegenseitige Anordnung und

2. Verschiedene Arten der Organisation.

[1]) Die Liebhaberei für Automaten war im 18. Jahrhundert sehr verbreitet. Vaucanson (1709—1771) fertigte eine Ente, welche lief, schnatterte, fraß und sogar scheinbar verdaute; ferner einen Flötenspieler, der zwölf Stücke blasen konnte, und einen Trommler, der mit der rechten Hand trommelte und zugleich auf einer in der linken Hand gehaltenen Schäferpfeife blies. Manche dieser Spielereien haben der Wissenschaft wirkliche Dienste geleistet, indem sie Veranlassung dazu gaben, die Mechanik gewisser physiologischer Vorgänge zu erforschen. Dies gilt z. B. von van Kempelen's Sprechmaschine, welche aus der Königl. Kunstkammer zu Berlin in das dortige physiologische Institut gelangte, wo sie bei Gelegenheit eines Brandes zerstört worden ist. Die den Vokalen entsprechenden Klänge wurden in ihr, ganz wie in unserem Kehlkopf, durch ein membranöses Zungenwerk, die den Konsonanten entsprechenden Geräusche in einem veränderlichen Ansatzrohr, welches unserer Mund- und Nasenhöhle entsprach, hervorgebracht. Durch Formveränderungen des Ansatzrohrs erhielten sie die den einzelnen Lauten entsprechenden akustischen Eigenschaften. Die Maschine konnte manche Wörter recht deutlich aussprechen.

dementsprechend die Art und Weise ihres Wirkens verschieden sind. Vergleichen wir endlich ein Tier mit einer Pflanze, so scheint kaum noch Übereinstimmung zu bestehen. Die Pflanzen sind wieder voneinander mehr oder weniger verschieden; ein Eichbaum, eine Fichte, ein Moos und ein Pilz sind Repräsentanten von bekannten Typen, welche alle das, was sie als Pflanzen gemeinsam haben, jedes auf andere Art zum Ausdruck bringen.

Mustern wir in dieser Weise sämtliche bekannte Lebewesen, so finden wir verschiedene Stufen der Organisation, einfacher und komplizierter organisierte. Es ist aber nicht möglich, eine einzige Reihe aufzustellen, in die wir, von der einfachsten zu immer höheren Komplikationsstufen der Organisation fortschreitend, alle Lebewesen einordnen könnten. Besser gelingt die Anordnung unter dem Bilde eines sich fortwährend verzweigenden Baumes, dessen Endspitzen die höchstkompliziert organisierten Lebewesen darstellen, während die einfacher organisierten näher am Stamm eingereiht werden. In dieser bildlichen Darstellung ist der Stamm der Repräsentant solcher Lebewesen, an denen keine oder doch keine deutliche Scheidung in Organe nachzuweisen ist. Der Stamm spaltet sich in zwei Hauptäste, Pflanzen und Tiere; die weitere Verästelung dieser Hauptstämme stellt die Typen, Klassen, Ordnungen, Genera nnd Spezies dar, in welche Botaniker und Zoologen alle bisher bekannten Pflanzen und Tiere eingeteilt haben.

Die systematische Ordnung aller Lebewesen ist um so besser, je mehr bei ihr alle wichtigen Merkmale der einzelnen Lebewesen berücksichtigt worden sind. Neben den äußerlich leicht erkennbaren Merkmalen der Gestalt u. s. w. kamen mit den Fortschritten der Kenntnisse auch die durch Sektionen und mikroskopische Untersuchung erkennbare Form und der feinere Bau der inneren Organe, neben diesen morphologischen Merkmalen auch physiologische, die Art der Entwickelung, die Wirkungsweise der Organe u. s. w. in Betracht. Während innerhalb eines jeden Typus (in dem Bild des sich verzweigenden Baumes durch je einen größeren Ast dargestellt) die Anordnung nach dem Grade der Komplikation der Organisation sich verhältnismäßig leicht durchführen lässt, ist es oft schwer zu entscheiden, an welcher Stelle man den betreffenden Ast von dem gemeinsamen Stamm, an welcher Stelle man einen Zweig von dem Ast abgehen lassen soll.

Die in dem Bilde des Baumes höher abgehenden Äste und Zweige stellen also höhere Grade der Komplikation des Baues dar. Da mit dieser in der Regel auch eine größere Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen und höhere Leistungsfähigkeit, wenn auch nur nach gewissen Richtungen, verbunden zu sein pflegt, so werden solche Lebewesen auch schlechtweg höhere genannt, im Gegensatz zu niedrigeren,

bei denen die Erscheinungen des Lebens so zu sagen in weniger entwickelter Weise verlaufen. Daraus folgt dass die Organismen, welche wir niedrigere oder einfachere nennen, in physiologischer Hinsicht komplizierter sein müssen als die einzelnen Organe der höheren, da sie Eigenschaften vereinigt besitzen, welche in den höheren Organismen auf verschiedene Organe verteilt sind. Die Leistungen dieser Organe sind zuweilen so in die Augen fallend, dass sie ohne künstliche Hilfsmittel erforscht werden können. Dagegen ist bei den einfacheren Lebewesen die Untersuchung schon dadurch erschwert, dass viele von ihnen nur mit Hilfe des Mikroskops sichtbar sind. Wegen der geringen Größe der Objekte sind viele bei anderen Lebewesen bewährte Untersuchungsmethoden gar nicht anwendbar. Die Untersuchungen an den Organen der höheren Lebewesen und an den einfachen müssen einander ergänzen.

3. Amöben.

3. Aus der großen Zahl der besser bekannten unter diesen winzigen Lebewesen, welche teils frei im Wasser der Teiche, Meere u. s. w., teils als sogenannte Parasiten in oder auf andern Lebewesen vorkommen, greifen wir eine Art heraus, weil sie sich für unsern gegenwärtigen Zweck besonders gut eignet. Im Schlamm stehender Gewässer findet man nicht selten Gebilde, welche die Zoologen Amöben nennen. Bringt man einen Tropfen Wasser aus einer

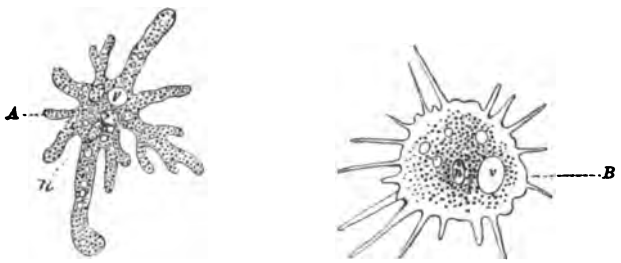


Fig. 43.

Zwei Amöben. *A Amoeba proteus; B Amoeba polypodia.* An letzterer sieht man gut den Unterschied von Ektosark und Entosark. *n* Kern; *v* Vakuole.

der Pfützen, wie sie nach einem Regen zurückbleiben, unter das Mikroskop, so wird man neben andern (zum Teil lebhaft sich bewegenden) kleinen Lebewesen eine oder die andere, zuweilen auch viele Amöben auffinden.

Eine solche Amöbe, z. B. eine der in Fig. 43 dargestellten, ist ein kleines, durch seine stärkere Lichtbrechung von dem umgebenden Wasser sich abhebendes Gebilde, dessen äußerer Rand glasartig hell erscheint, während der größere Teil des Inhalts, durch zahlreiche in ihm verteilte feine Körnchen getrübt ist und ungefähr das Aussehen matten Glases hat. Außerdem sieht man im Innern noch ein größeres Gebilde, den Kern (Fig. 43,n) oder Nucleus

und in der Regel größere oder kleinere Körperchen von verschiedener Gestalt und Beschaffenheit, die sogenannten Einschlüsse, sowie eine oder mehrere helle Stellen, Vakuolen (Fig. 43,v).

Genauern Aufschluss über den Bau der Amöbe erhalten wir durch die Anwendung von Reagentien, besonders von Färbmitteln. Gewisse Farbstoffe färben die Substanz des Amöbenleibs so stark, dass schon geringe Mengen, welche kaum eine leichte Färbung des Wassers bewirken, die Körper deutlicher hervortreten lassen. Dabei färbt sich der körnige Inhalt stärker als die (ursprünglich glashelle) äußere Randschicht, und in jenem tritt der Kern (zuweilen sind es auch mehrere) noch besonders deutlich hervor. Bei Anwendung starker Vergrößerung (etwa 1000) zeigt sich, dass der Kern von einer zarten Membran umschlossen ist und dass sein Inhalt aus einer ungefärbten Masse besteht, in welcher die gefärbte in Gestalt von feinen Körnchen oder Fäden verteilt oder an gewissen Stellen dichter angehäuft, eingelagert ist. Letztere wird Chromatin, erstere Achromatin genannt. Außerdem kommt im Kern noch eine dritte, stark lichtbrechende, in Wasser und wässrigen Lösungen wenig quellbare Substanz vor, welche, wenn sie an einer Stelle dichter zusammengedrängt ist, als Kernkörperchen oder Nukleolus sichtbar wird. Zuweilen sieht man auch mehrere kleine Nukleoben.

Die Amöbe besteht also aus der feinkörnigen, außen von einer hellen Randzone umhüllten Masse und dem Kern. Jene Masse führt den Namen Protoplasma. Bei ihrer geringen Menge ist es unmöglich, durch eine chemische Analyse ihre Zusammensetzung festzustellen. Mikrochemische Reaktionen und Analogieen mit andern ähnlichen Gebilden lassen darauf schließen, dass Proteine in ihr niemals fehlen, und dass mit diesen andere organische (besonders Fette und Kohlenhydrate) und unorganische Stoffe innig gemengt sind. Alle diese Stoffe sind in Wasser teils gelöst, teils von ihm durchdrungen, gequollen. Die Konsistenz des Ganzen entspricht jenem im Kap. 7 ausführlich besprochenen halbflüssigen Aggregatzustand, welcher für die lebende Substanz charakteristisch ist.

Die äußere Randschicht ist keine besondere, vom übrigen Protoplasma chemisch verschiedene feste Membran. Zerreißt man eine Amöbe mit Hilfe von Nadeln oder dergleichen, so sieht man jedes Bruchstück von einer solchen Randschicht umgeben. Die Biologen haben jedoch dieselbe mit einem eigenen Namen belegt, um sie von dem übrigen Protoplasma zu unterscheiden, und nennen die Randschicht Ektosark, das übrige Protoplasma Entosark.

Überall, wo gequollene kolloide Stoffe mit Flüssigkeiten in Berührung kommen, die eine andere Zusammensetzung haben als die Quellungs-

flüssigkeit, welche die kolloide Masse durchtränkt, kann es zur Bildung einer solchen Randschicht, unter Umständen auch zur Bildung einer wirklichen Membran kommen. Bringt man auf einen Objektträger einen Tropfen Hühnereiweiß und daneben einen Tropfen Olivenöl und betrachtet bei schwacher Vergrößerung die Stelle, an der beide zur Berührung gekommen sind, so bemerkt man eine glänzende, stark lichtbrechende Fläche, welche sich durch ihr Aussehen sowohl von dem Eiweiß wie von dem Öl unterscheidet. Führt man eine Nadel von dem einen Tropfen her über die Grenzschicht fort, so sieht man, dass jene Fläche sich in Falten legt, wie es eine dünne feste Membran unter solchen Umständen thun muss. In der That entsteht bei Berührung von Eiweiß und Fett ein Niederschlag wegen Verbindung eines Teils der im flüssigen Eiweiß enthaltenen Basen mit den Fettsäuren. Man hat dieser sogenannten Haptogenmembran früher eine Bedeutung für das Entstehen fester, membranöser Umhüllungen um Protoplasmakörper beigelegt; die Bedingungen für das Entstehen derselben sind aber in der Regel gar nicht gegeben, da die lebenden Protoplasmamassen nicht in Öl, sondern in wässerige Flüssigkeiten eingelagert sind.

Nichtsdestoweniger kann es unter Umständen zu wirklichen Membranbildungen kommen, teils durch chemische Reaktion zwischen Flüssigkeit und Protoplasma, teils durch chemische Veränderungen innerhalb der Protoplasmamasse selbst. Im ersteren Falle können wir von einer Niederschlagsmembran, im anderen von einer Ausscheidungsmembran sprechen (vgl. Kap. 7, § 10). Wir dürfen aber die Anwesenheit einer Membran nur dann mit Sicherheit behaupten, wenn sie nach außen und nach innen scharf abgegrenzt erscheint, so dass bei genügend starker Vergrößerung ein doppelter Kontur sichtbar ist, d. h. wenn die Protoplasmamasse von zwei deutlichen, konzentrisch verlaufenden Grenzlinien umschlossen ist.

An dem Amöbenleibe ist dies nicht der Fall; die Begrenzung ist nach außen ganz scharf; nach innen aber geht das Ektosark allmählich in das Entosark über. Dieser Umstand sowie der Erfolg des Zerreißungsversuchs schließen die Annahme einer wirklichen Membran aus. Wahrscheinlich haben die äußeren Schichten des Protoplasmas eine etwas festere Konsistenz, weil ihnen von dem umgebenden Wasser ein Teil der in ihnen enthaltenen Salze entzogen wird, wodurch die Proteine in ihren Quellungs- und Löslichkeitsverhältnissen eine Änderung erfahren.

Den Kern müssen wir als einen notwendigen Bestandteil der Amöbe ansehen. Es gibt freilich Amöben, welche im ungefärbten Zustande keinen Kern zeigen. Nach geeigneter Färbung aber treten in dem Protoplasma verteilt eine Anzahl sich stark färbender kleiner Gebilde hervor, welche dem Chromatin des Kerns gleichen. Es scheint, dass in diesen Fällen die Kernsubstanz nicht an einer

Stelle zusammengedrängt, sondern mehr verteilt im Protoplasma enthalten ist. Chemische Untersuchungen an anderen Lebewesen, welche gestatten, die Kernsubstanz in größeren Mengen zu sammeln, haben gelehrt, dass in ihr gewisse Proteinstoffe vorhanden sind, welche sich von anderen Proteinen wesentlich unterscheiden; man fasst sie unter dem Namen Nukleinstoffe zusammen (vgl. Kap. 10 § 16 und 18).

Außerdem können innerhalb der Protoplasmamasse noch allerlei Körper, Bruchstücke von Pflanzen oder ganze, mikroskopisch kleine andere Lebewesen, Diatomeen u. s. w. vorkommen, die wir unter der Bezeichnung „Einschlüsse" erwähnt haben. Sie gehören nicht zu dem Amöbenleib, wie wir die eigentlichen, das Gebilde zusammensetzenden Teile, Protoplasma und Kern, fortan nennen wollen, sondern sind von außen her in denselben hineingeraten. Wie das geschieht, werden wir sogleich erfahren.

4. Bewegungen der Amöbe.

4. Was uns veranlasst, dieses Klümpchen organischer Masse für ein lebendes Wesen zu halten, ist, dass der Leib mit der Fähigkeit selbständiger Bewegung ausgestattet ist. Die genaue Beobachtung dieser Bewegungen geschieht am besten im hängenden Tropfen. Zu diesem Zwecke bringt man einen kleinen Tropfen des amoebenhaltigen Wassers auf ein Deckglas und legt dieses, nachdem man es umgekehrt hat, so auf einen Objektträger, dass es, durch kleine, an passenden Stellen auf letzterem befestigte Wachsklümpchen oder Glassplitter getragen, in geringer Entfernung von ihm bleibt. Dadurch werden die in dem Tropfen befindlichen Amöben vor Druck geschützt. Statt dessen kann man sich auch eines Objektträgers bedienen, in welchen eine kleine Vertiefung eingeschliffen oder auf welchen ein kleiner, niedriger Ring aufgekittet ist. Legt man das umgekehrte Deckglas mit dem hängenden Tropfen auf den Rand des kleinen Hohlraums, so wird dieser abgeschlossen und stellt dann eine sogenannte feuchte Kammer dar. Komplizierter, aber für eine Reihe gleich zu beschreibender Versuche noch besser geeignet ist eine feuchte Kammer, welche so eingerichtet ist, dass man die Temperatur des Wassers, in welchem die zu beobachtenden Amöben enthalten sind, und die Zusammensetzung der Luft, mit welcher das Wasser in Berührung ist, nach Belieben verändern kann.

Beobachtet man in dieser Weise lebende Amöben zunächst in atmosphärischer Luft und bei Zimmertemperatur, so sieht man, dass sie ihre Form fortwährend ändern. Hier oder da schiebt sich aus dem Leib ein Fortsatz heraus. Derselbe ist anfangs ganz klar, bald aber fließt die körnchenführende Masse des Entosarks in ihn hinein, so dass er, wie der übrige Leib, aus der klaren Randschicht und dem körnigen inneren Teil des Protoplasmas besteht. Solche

Fortsätze können zuweilen eine erhebliche Länge erreichen und sehr dünn sein. In der Regel hört aber bald die Bewegung auf und kehrt dann ihre Richtung um; der Fortsatz wird eingezogen, die Oberfläche rundet sich wieder ab. Dafür tritt an einer anderen Stelle ein Fortsatz hervor; zuweilen bilden sich mehrere Fortsätze an verschiedenen Stellen zu gleicher Zeit. Die Größe, welche diese Fortsätze erreichen, ihre Formen, ob sie mehr dick und lappig oder dünn und fadenartig sind, ist bei verschiedenen Amöbenarten verschieden.

Die Geschwindigkeit, mit der diese Bewegungen vor sich gehen, ist immer sehr gering. Sie zu verfolgen stellt die Geduld des Beobachters auf eine harte Probe. Am besten verfährt man so, dass man die Umrisse einer bestimmten Amöbe in regelmäßigen Zeiträumen (etwa alle 5—10 Minuten) genau zeichnet. Durch Vergleichung der nacheinander aufgenommenen Zeichnungen sind die Gestaltveränderungen deutlich erkennbar.

Die Bewegungen werden lebhafter, wenn man die Temperatur erhöht. Bei einer Temperatur von 40—45° werden sie häufig so beschleunigt, dass man die einzelnen Stadien nicht mehr durch Zeichnung festzuhalten vermag. Umgekehrt hören die Bewegungen bei Temperaturen von wenig über 0° ganz auf. Der Leib rundet sich zu einer Kugel und bleibt so, bis die Temperatur wieder gesteigert wird.

In vielen Fällen wird einer der beschriebenen Fortsätze immer größer, so dass nach und nach die ganze Leibesmasse in ihn aufgenommen wird; die Amöbe hat dann ihre Stelle verändert. Sie kriecht sozusagen an der Unterlage umher.[1])

Da die Fortsätze dabei als „Füße“ wirken, aber doch keine wirklichen vorgebildeten Organe sind, sondern an jeder Stelle des Leibes entstehen und wieder vergehen können, so hat man sie „Scheinfüße“, Pseudopodien, genannt. Die Fähigkeit, sich durch Pseudopodien fortzubewegen, kommt bei allen den Amöben gleichartig beschaffenen Lebewesen, aber auch bei einzelnen Teilen (sogenannten Zellen) komplizierter Lebewesen vor; diese Bewegungen werden daher amöboide genannt.

Ganz ebenso wie Amöben verhalten sich von den Zellen komplizierter Lebewesen insbesondere die im Blute der höheren Tiere neben den roten Blutkörperchen vorkommenden farblosen Blutkörperchen oder Leukocyten. In Fig. 44 (auf S. 300) sind verschiedene Formen, welche ein und dasselbe farblose Körperchen nach einander annahm, dargestellt.

[1]) Bei der Beobachtung im hängenden Tropfen ist die Fläche, an der das Kriechen stattfindet, oberhalb der Amöbe.

In höheren Temperaturen werden die Bewegungen lebhafter. Steigt aber die Temperatur über etwa 45°, so werden sie wieder langsamer; der Leukocyt ballt sich zu einer Kugel zusammen und stellt schließlich seine Bewegungen ganz ein. Hält diese „Wärmestarre" längere Zeit an, so stirbt der Leukocyt ab; wird aber die Temperatur rechtzeitig wieder herabgesetzt, so kehren die Bewegungen wieder.

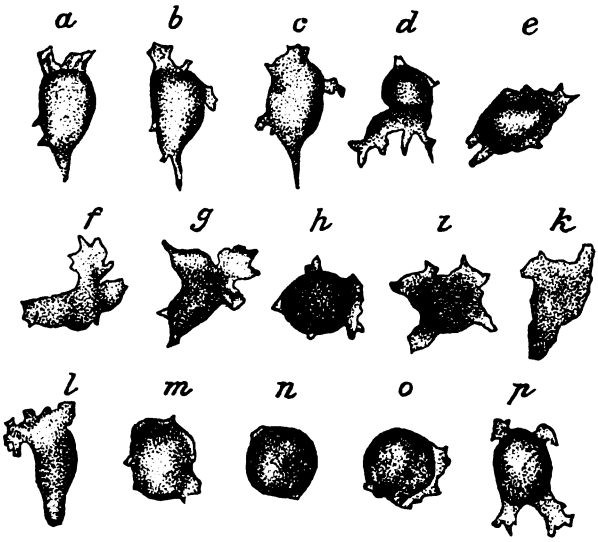


Fig. 44.

Formveränderungen eines Leukocyten vom Frosch (nach ENGELMANN). Das Körperchen wurde in Zwischenräumen von fünf zu fünf Minuten gezeichnet. Von *a*—*c* war die Temperatur 12°. Dann wurde sie bis nahezu 50° gesteigert. Die Bewegungen wurden sehr lebhaft, wobei das Körperchen seinen Ort veränderte. Bei *m* beginnt die Wärmestarre. Nun wurde die Temperatur wieder auf 12° herabgesetzt, wodurch die Bewegungen wieder in Gang kamen.

Alles das kann man in gleicher Weise auch an Amöben beobachten.

Man kann die Bewegungen der Amöbe auch künstlich hervorrufen durch Stechen, Drücken, plötzliche Temperaturschwankungen oder elektrische Ströme. Solche Einwirkungen, welche das Protoplasma der Amöbe veranlassen, sich zu kontrahieren, nennt man Reize; die Fähigkeit des Protoplasmas, auf Reize zu reagieren, wird Reizbarkeit genannt. Die Reizbarkeit, eine der hervorragendsten Eigenschaften aller lebenden Substanz, tritt uns an diesen Lebewesen in einer ihrer einfachsten Formen entgegen.

5. Aufnahme von Fremdkörpern.

5. Wenn eine Amöbe bei ihren Bewegungen auf ein festes Körperchen stößt, sei es ein anorganischer Körper, ein anderes Lebewesen oder ein Bruchstück eines solchen, wie sie in dem

Wasser, in welchem Amöben leben, nicht selten vorkommen, dann fließen die ausgestreckten Pseudopodien sozusagen um das Hindernis herum, umklammern es gleichsam mit zwei Armen. Sobald sich diese berühren, verschmelzen sie miteinander, so dass der Fremdkörper jetzt ganz vom Protoplasma umschlossen ist. In der Regel wird dann das Pseudopodium wieder eingezogen und damit der Fremdkörper in das Innere des Amöbenleibs gebracht. Auf diese Weise gelangen die obenerwähnten „Einschlüsse" in die Amöben. Da die Aufnahme um so häufiger eintritt, je zahlreichere feste Partikelchen in der Umgebung der Amöben vorhanden sind, so kann man den Vorgang absichtlich herbeiführen, wenn man dem Wasser kleine, leicht erkennbare Körperchen, fein zerriebene chinesische Tusche, Karmin- oder Indigokörnchen, zusetzt. Die Amöben sammeln dann förmlich die Körnchen in sich und schleppen sie bei ihren Bewegungen mit sich herum.

Nach einiger Zeit werden solche Körnchen wieder ausgestoßen. Bei den fortwährenden Gestaltveränderungen des Amöbenleibs kommt nach und nach jedes Körnchen irgendwo an den Rand; bei der folgenden Kontraktion gelangt es dann nach außen, ohne dass an der Austrittsstelle eine Verletzung zu sehen wäre, da das Protoplasma gleich wieder zusammenfließt. Sind aber organische Körper, Bruchstücke von Pflanzen oder kleine Lebewesen irgend welcher Art, von den Amöben aufgenommen worden, dann bemerkt man, dass sie allmählich kleiner werden. Diese Stoffe sind aber nicht einfach in Wasser löslich; wären sie das, so hätten sie nicht in dem die Amöbe umgebenden Wasser ungelöst bleiben können. Wir müssen also annehmen, dass mit den Stoffen erst eine chemische Umwandlung vorgegangen ist, durch welche sie löslich geworden sind. Erst nachdem das geschehen ist, konnten sie sich durch Diffusion in dem den ganzen Amöbenleib durchtränkenden Wasser verbreiten.

Nach Analogie mit ähnlichen Vorgängen bei anderen Lebewesen sagen wir, dass die Amöben fremde Körper *fressen*, sie eventuell *verdauen* und sich von ihnen *ernähren*.[1]) Mit der Nahrungsaufnahme ist eine Zunahme an Masse verbunden. In der That können wir, wenn wir Amöben, denen es nicht an Nahrung fehlt, dauernd beobachten, sehen, dass sie allmählich größer werden oder *wachsen*. Die Zunahme erfolgt nicht durch einfache Anlagerung der neuen Substanz an die alte, sondern die gelöste Sub-

[1]) Sind in dem umgebenden Wasser lösliche, zur Ernährung geeignete Stoffe enthalten (Peptone, Zucker oder dgl.), so könnten diese durch Diffusion in den Amöbenleib hinein gelangen und ohne vorherige Verdauung unmittelbar zur Ernährung dienen. In dieser Weise geht die Ernährung, wie wir später sehen werden, bei anderen Lebewesen vor sich, welche ungelöste Stoffe nicht aufnehmen können, weil sie in feste Membranen eingeschlossen sind.

stanz dringt zwischen die Teilchen der schon vorhandenen Leibesmasse ein und verteilt sich in ihr gleichmäßig. Man sagt daher, die Amöbe wachse nicht durch Anlagerung oder Juxtaposition, sondern durch Einlagerung oder Intussusception.

Ist diese Einlagerung erfolgt, dann nimmt, wie es scheint, die neuhinzugekommene Masse an allen Eigenschaften des übrigen Protoplasmas teil. Da alle Lebewesen die drei Gruppen organischer Stoffe: Proteinstoffe, Fette, Kohlenhydrate und außerdem Wasser und Salze enthalten, so lässt sich begreifen, dass die Amöbe, mag sie nun tierische oder pflanzliche Nahrung aufnehmen, in dieser die Substanzen findet, aus denen sie ihren Protoplasmabestand zu vermehren vermag. Immerhin ist es unwahrscheinlich, dass die aufgenommene Nahrung genau dieselbe chemische Beschaffenheit habe wie das Protoplasma des Amöbenleibs. Es kann daher vermutet werden, dass die Amöbe auch die Fähigkeit besitzt, aus jenen chemischen Grundstoffen organischer Substanzen gerade diejenige Mischung herzustellen, welche ihrem Protoplasma im lebenden Zustande zukommt. Diesen Vorgang wollen wir vorläufig Assimilation nennen.[1])

6. Stoffwechsel und Atmung.

6. Dass auch noch andere chemische Prozesse sich im Amöbenleib abspielen, dürfen wir nach Analogie mit andern Lebewesen gleichfalls vermuten. Bei der geringen Größe der Amöben, von denen viele hundert Stück kaum 1 mg fester Substanz enthalten mögen, ist es unmöglich, die chemischen Prozesse im einzelnen zu verfolgen. Trotzdem sind wir imstande, etwas über dieselben auszusagen. Das Wasser der Pfützen, Teiche u. s. w., in denen Amöben leben, kann aus der Atmosphäre Gase aufnehmen; diese müssen auch durch Diffusion in das den Amöbenleib durchtränkende Wasser eindringen. Ist aus irgend einem Grunde die Gasspannung innerhalb und außerhalb des Amöbenleibs verschieden, so muss ein Austausch der betreffenden Gase eintreten. Bringen wir einen Wassertropfen mit den in ihm enthaltenen Amöben in eine feuchte Kammer und leiten wir durch dieselbe einen Strom von Wasserstoffgas, bis alle in der Kammer enthaltene Luft verdrängt ist, so entweicht auch der Sauerstoff, welcher im Wassertropfen absorbiert war, da er jetzt mit einer Atmosphäre von der Sauerstoffspannung Null in Berührung ist. Dasselbe muss schließlich auch mit demjenigen Sauerstoff geschehen, welcher in dem Wasser des Amöbenleibs absorbiert enthalten ist.[2]) Es zeigt sich, dass nach längerem Durchleiten des Wasser-

[1]) Der Begriff der Assimilation wird durch die etwa stattfindenden chemischen Veränderungen nicht erschöpft. Die weitere Besprechung muss auf eine andere Stelle verschoben werden.

[2]) Chemisch gebundener Sauerstoff wird durch Wasserstoff nicht entfernt. Es giebt aber lockere Verbindungen von Sauerstoff mit organischen Substanzen,

stoffstroms die Bewegungen träger werden und zuletzt ganz aufhören. Die Amöben ziehen ihre Pseudopodien ein, werden kugelig und verharren in dieser Lage ohne Zeichen von Leben. Sobald man wieder Sauerstoff zuleitet, beginnen die Bewegungen von neuem. Man kann den Versuch öfter mit demselben Erfolg wiederholen.

Besser noch als mit Wasserstoff gelingt der Versuch mit Kohlendioxyd. Da Kohlendioxyd von Wasser viel stärker absorbiert wird, so dringt es auch viel schneller in den mit Wasser durchtränkten Amöbenleib ein. Das Kohlendioxyd scheint auch direkt schädigend auf die Lebenseigenschaften der Amöben zu wirken. Wenn man sie längere Zeit in der Kohlendioxydatmosphäre belassen hat, so stellen sich die Bewegungen nicht wieder ein, auch wenn man es wieder durch Sauerstoff oder atmosphärische Luft ersetzt. Wasserstoff dagegen scheint indifferent zu sein, d. h. er wirkt nicht selbst schädigend, sondern nur dadurch, dass er den Sauerstoff verdrängt. Ähnlich wie Wasserstoff verhält sich Stickstoff. Leitet man ein Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff durch die feuchte Kammer, so bleiben die Amöben unverändert; das Gemenge verhält sich also wie atmosphärische Luft.

Die Anwesenheit freien Sauerstoffs ist also eine notwendige Bedingung für den Ablauf der Lebenserscheinungen bei den Amöben. Nach Analogie mit anderen Lebewesen können wir vermuten, dass der Sauerstoff sich mit Bestandteilen des Protoplasmas chemisch verbindet, und dass bei dieser Oxydation unter anderen Verbindungen auch Kohlendioxyd entsteht, welches an das umgebende Wasser abgegeben wird. In diesem Kohlendioxyd und in anderen, bei der Oxydation entstandenen Produkten würde ein Teil der Leibessubstanz aus dem Amöbenleib ausgeschieden werden; die Amöbe müsste an Masse verlieren. Wir erhalten also den Eindruck, dass bei der Amöbe, ähnlich wie wir es beim Kaninchen gefunden haben, ein Stoffwechsel und als Teilerscheinung desselben eine Atmung stattfindet. Es ist auch anzunehmen, dass mit diesen chemischen Prozessen eine Produktion von Wärme verbunden ist. Es ist aber unmöglich, diese Vorgänge experimentell zu verfolgen, da die Massen, an denen sie stattfinden, zu klein sind. Die Mengen von Kohlendioxyd, welche eine Amöbe selbst in längeren Zeiten ausgeben kann, lassen sich durch chemische Reaktionen nicht bestimmen. Und die in jedem Augenblick produzierte Wärme kann die Temperatur des Wassers nicht merklich steigern, besonders da die Bedingungen für die Abgabe der Wärme an die Umgebung sehr günstige sind. Wir müssen uns also in Bezug auf die Vorgänge

welche bei sehr niedrigem Partialdruck des Sauerstoffs dissoziiert werden. Dieser so freigewordene Sauerstoff kann entweichen.

des Stoffwechsels und seiner Begleiterscheinungen mit Vermutungen begnügen, welche nur durch die Analogie mit den Vorgängen an anderen Lebewesen einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit erhalten.

7. Wichtigkeit des Wassergehalts.

7. Die in den beiden vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Erscheinungen zeigen in deutlicher Weise die hohe Bedeutung, welche der Wassergehalt des Protoplasmas für das Zustandekommen der Lebensvorgänge der Amöben hat. Die Aufnahme und Verbreitung von Stoffen durch den ganzen Amöbenleib, das Eindringen von Sauerstoff und der etwaige Austritt von Gasen und gelösten festen Stoffen, welche durch chemische Prozesse im Amöbenleib entstehen mögen, findet auf dem Wege der Diffusion in dem die Leibessubstanz durchtränkenden Wasser statt. Wie groß der Wassergehalt einer Amöbe sein muss, erkennt man deutlich, wenn dieselbe mitsamt dem Wasser, in welchem sie lebt, eintrocknet. Selbst mit sehr starken Vergrößerungen sieht man dann nur einen winzigen Rückstand. Der große Wassergehalt ist aber charakteristisch für alle lebende Substanz, auch für solche, welche kein selbständiges Leben führt, sondern Teil eines größeren, komplizierten Lebewesens ist. Zwar enthalten die Teile eines solchen sehr verschiedene Wassermengen. Knochen des Menschen enthalten bis zu 16, Muskeln etwa 75% Wasser. Aber innerhalb der Knochen giebt es kleine, wasserreiche Gebilde, und gerade in diesen gehen die Lebensvorgänge lebhaft vor sich (vgl. hierzu das in Kap. 7 § 7 Gesagte).

Da alle Lebewesen fortwährend Wasser aufnehmen und das Wasser der Teiche, Seen, Flüsse u. s. w. stets Mineralstoffe in Lösung enthält,[1]) so ist auch das die Lebewesen durchsetzende Wasser niemals chemisch reines Wasser. Darum findet man in der Leibessubstanz aller Lebewesen neben den organischen Stoffen stets auch unorganische, teils nur in dem Quellungswasser gelöst und den organischen Stoffen beigemengt, teils mit diesen in chemischer Verbindung. Aber auch die ersteren sind für den Ablauf der Lebenserscheinungen nicht ohne Bedeutung, da sie die Lösungs- und Quellungsbedingungen der organischen Stoffe und durch den von ihnen abhängigen osmotischen Druck die Wanderung der Stoffe in und aus der lebenden Substanz beeinflussen (vgl. Kap. 7).

Setzt man die Bestandteile (Gewebe) der Lebewesen einem starken Druck aus, so kann man einen Teil der sie durchtränkenden Flüssigkeit mit den in ihr gelösten organischen und unorganischen

[1]) Auch das Regenwasser nimmt aus der Luft und dem Boden allerlei Stoffe auf, ehe es mit Lebewesen in Berührung kommt.

Stoffen auspressen. Was zurückbleibt, enthält noch Wasser, welches durch Trocknen entfernt werden kann (vgl. Kap. 7, § 6). Erhitzt man den trockenen Rückstand, so kann man die organische Substanz zerstören und behält die anorganischen Stoffe, soweit sie nicht bei der hohen Temperatur flüchtig sind, als Asche zurück. Diese Asche enthält gewisse Bestandteile immer, welcher Art auch das Lebewesen, von welchem die Asche herrührt, gewesen sein mag; andere finden sich nur bei manchen Lebewesen, bei diesen aber konstant; wieder andere werden nur zuweilen gefunden, sind sozusagen nur zufällig in das Lebewesen hineingeraten.

Die konstant vorkommenden Aschenbestandteile sind solche, die überall auf der Erde verbreitet und im Wasser, wenn auch nur in geringer Menge, gelöst enthalten sind. Landpflanzen nehmen diese Stoffe mit dem Wasser aus dem Boden, Wasserpflanzen und Wassertiere direkt aus dem umgebenden Wasser, Landtiere mit der Nahrung auf. Regelmäßig findet man Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen in Verbindung mit Kohlensäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kieselsäure, Chlor und Fluor; bei den im Meere lebenden Pflanzen und Tieren auch Brom und Jod.[1]) Von den nur zuweilen vorkommenden Mineralstoffen haben wir das im gelben Veilchen (*Viola lutea*), welches auf zinkhaltigem Boden wächst, vorkommende Zink schon erwähnt (s. Kap. 8, § 8). Gelegentlich sind gefunden worden Kupfer, Blei, Quecksilber u. a., welche meistens nur durch Zufall in die Lebewesen geraten und in ihnen in unlösliche Verbindungen übergehen, so dass sie nicht wieder ausgeschieden werden können.

Manche Tiere (Difflugien, Würmer u. a.), z. B. die in Fig. 45 abgebildete *Difflugia pyriformis*, bilden aus Sand und anderen in ihrer Umgebung vorkommenden Stoffen Gehäuse, in denen sie leben. Obgleich der Bau dieser Gehäuse eine echte Lebensthätigkeit ist, so können wir doch die Mineralstoffe, aus denen sie bestehen, nicht eigentlich zu den Bestandteilen des Tierleibs rechnen. Die Sandkörnchen werden durch eine von den Tieren abgesonderte organische, schleimartige Substanz zusammengeklebt. Ähnliches kommt bei dem Nestbau der Vögel vor,

Fig. 45.

Difflugia pyriformis, ein wie die Amöben zu den Rhizopoden gehöriges Protozoon. Der amöbenartige Leib steckt in einem aus Sandkörnchen zusammengeklebten Gehäuse *g*, aus dessen Öffnung die Pseudopodien hervorgestreckt werden.

[1]) Jod fehlt auch bei Landtieren nicht, kommt aber bei ihnen in einer organischen Verbindung, nicht an Metalle gebunden, vor.

nur dass hier die fremden, durch Speichel und andere Ausscheidungen zusammengeklebten Massen nicht mit dem Tierleib verkleben.

Dagegen sind die aus Kalksalzen gebildeten Schalen der Muscheln, die Panzer der Crustaceen, die Knochen der Wirbeltiere echte Teile ihrer Leiber, trotz ihres großen Reichtums an Mineralstoffen, welche die organische Substanz, in die sie eingelagert sind, bedeutend an Masse überwiegen.

8. Vermehrung und Tod.

8. Aus dem Vorhergehenden folgt, dass Wachstum nur insoweit stattfinden kann, als die Menge der aufgenommenen Stoffe die der abgegebenen übertrifft. Aber die Größenzunahme geht bei reichlich mit Nahrung versehenen Amöben dennoch nur bis zu einer gewissen Grenze. Ist diese erreicht, dann bemerkt man etwas Eigenartiges. Die Amöbe spaltet sich, aus einer werden zwei.

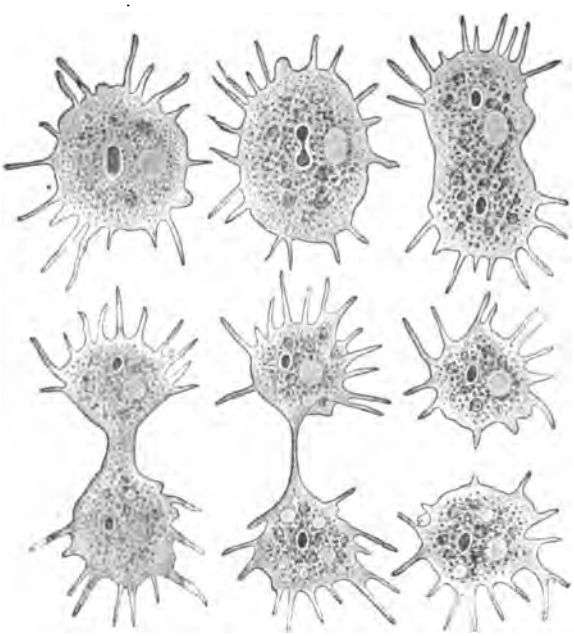


Fig. 46.

Teilung der Amoeba polypodia (nach F. E. Schulze). Der Kern ist dunkel, die Vakuole blass gezeichnet.

Man nennt diesen Vorgang Teilung. Zuerst streckt sich der Kern und wird sanduhrförmig, d. h. in der Mitte eingeschnürt; die Verbindung wird immer dünner und reißt zuletzt, so dass zwei Kerne vorhanden sind. Diese rücken auseinander; gleichzeitig streckt sich der Amöbenleib, so dass er eine längliche Form an-

nimmt, in welcher die beiden Kerne wie in den Brennpunkten einer Ellipse liegen. Dann schnürt sich auch der Leib zwischen den beiden Kernen ein, wird zu einem dünnen Faden ausgezogen, bis auch dieser abreißt und die Trennung vollendet ist.

Die Teilung kann sich mehrmals wiederholen, so dass aus einer Amöbe zwei, dann vier u. s. w. werden. Es findet also eine Vermehrung der Amöben statt. Aber trotzdem kann die Anzahl der gleichzeitig lebenden Amöben nicht ins Unbegrenzte wachsen, weil fortwährend auch viele zu Grunde gehen. Bei fortgesetzter Beobachtung der in einem Wassertropfen vorhandenen Amöben findet man immer einzelne, die in ihren Bewegungen nachlassen, ihre Fortsätze einziehen, sich zu Kugeln abrunden und in unbeweglichem Zustande beharren. Zuweilen erholen sich solche Amöben wieder, dafür stellen andere, die sich bis dahin lebhaft bewegten, auch solche, die man durch Teilung hat entstehen sehen, ihre Bewegungen ein. Hat der Zustand der Unbeweglichkeit längere Zeit angehalten, dann gehen noch tiefere Veränderungen an den Leibern vor. Das Protoplasma trübt sich, der Leib zerfällt, die Bruchstücke werden aufgelöst oder von anderen Amöben oder auch sonstigen in dem Wasser vorhandenen Lebewesen aufgenommen.

Man kann diese Veränderung an den Amöben in kurzer Zeit herbeiführen, wenn man sie auf etwas über 45° erwärmt, wenn man ihnen für längere Zeit den Sauerstoff entzieht, wenn man dem Wasser geringe Mengen freier Säuren oder freier Alkalien zusetzt oder sehr geringe Mengen pflanzlicher Alkaloide.

Solche Substanzen, die schon in geringen Mengen schädlich wirken, nennt man Gifte. Das erste Zeichen von Veränderung, das durch diese Schädlichkeiten hervorgerufen wird, ist immer, dass die Amöben ihre Bewegungen einstellen und nicht mehr auf Reize reagieren. Erst später treten die sichtbaren Veränderungen, die Trübung und der Zerfall ein.

In solchen Fällen sind wir berechtigt zu sagen, dass die Amöben ihre Lebenseigenschaften verloren haben, oder dass sie gestorben sind. Der Tod kann durch giftige oder schädigende Einwirkungen herbeigeführt sein oder durch Mangel an den notwendigen Lebensbedingungen: Sauerstoff, Wasser und Nahrung. Wo viele Amöben in einer abgeschlossenen kleinen Wassermenge bei reichlicher Nahrung leben und sich lebhaft vermehren, muss es zu Sauerstoffmangel kommen, weil die geringe Menge des vorhandenen Sauerstoffes nicht für alle ausreicht. Mangel an Nahrung können wir herbeiführen, wenn wir Amöben in destilliertes Wasser oder filtriertes Brunnen- oder Quellwasser bringen. Wenngleich ihr Stoffbedürfnis sehr gering ist, wird doch, da sie dann gar keine Nahrung aufnehmen

können, nach einiger Zeit der Tod eintreten. Ob aber die Amöben auch bei Anwesenheit aller zu ihrem Leben notwendigen Bedingungen dennoch schließlich, sozusagen an Altersschwäche sterben, wissen wir nicht. Sicher ist nur, dass fortwährend viele zu Grunde gehen, dass aber die Erhaltung der Arten durch die fortwährende Entstehung neuer Individuen gesichert ist.[1])

9. Scheintod und Encystierung.

9. Lässt man einen Wassertropfen, in welchem sich Amöben befinden, eintrocknen, so schrumpfen die Amöben zu einer kaum noch sichtbaren geringen Masse ein. Befeuchtet man sie wieder, so quellen sie durch Wasseraufnahme, nehmen wieder ihre frühere Form an und können, wenn der Zustand der Trockenheit nicht allzulange gedauert hat, wieder Bewegungen ausführen. Man kann den Zustand der Trockenheit, in welchem alle Lebenserscheinungen aufhören, als Scheintod bezeichnen. Der Ausdruck passt auch auf diejenigen Fälle, in denen die Lebenserscheinungen durch Entziehung von Sauerstoff zeitweise aufgehoben sind. Der Scheintod geht bei längerer Dauer in wirklichen Tod über.

Von den Amöben, welche in Pfützen, Regenrinnen der Häuser und an ähnlichen Orten vorkommen, an denen das Wasser häufig eintrocknet, gehen viele bei solchen Gelegenheiten zu Grunde. Dennoch findet man kurz nach einem Regenfall immer wieder lebende Amöben in jenen Wässern. Die Art und Weise, wie diese den Zustand der Eintrocknung ohne Schaden längere Zeit überstanden haben, ist sehr interessant. Geht nämlich das Eintrocknen langsam vor sich, so stellen die Amöben ihre Bewegungen ein, runden sich zu Kugeln ab und umgeben sich mit einer, wahrscheinlich durch Aussonderung aus ihrem Protoplasma entstehenden, derben Schale oder Cyste. In diesem encystierten Zustand sind sie gegen weiteres Eintrocknen, Sauerstoffmangel und andere Schädlichkeiten sehr widerstandsfähig; sie können als winzige Partikelchen mit dem Staub der eingetrockneten Pfützen durch den Wind verweht und zuweilen weite Strecken fortgetragen werden. Gelangen sie wieder in Wasser, so quellen sie, die Cyste wird gesprengt, und die freigewordene Amöbe kann zu neuem Leben erwachen.

Es ist zuweilen außerordentlich schwer, die hier geschilderten Zustände von Scheintod, welche in ähnlicher Weise auch an vielen

[1]) Da alle lebenden Amöben durch Teilung aus anderen hervorgegangen sind, also in ihrer Leibessubstanz einen Bruchteil der Leibessubstanz ihrer Vorfahren enthalten, so kann man mit Aug. Weismann sagen, dass im Grunde genommen das Protoplasma der Amöben und aller anderen sich ebenso wie diese durch Teilung vermehrenden Lebewesen unsterblich sei. Ein prinzipieller Unterschied von Lebewesen, welche sich auf andere Weise vermehren, scheint mir aber nicht vorhanden zu sein.

anderen Lebewesen vorkommen, von dem wahren Tode zu unterscheiden. So lange der Leib einer bewegungslosen Amöbe noch nicht den obenbeschriebenen Zerfall zeigt, bleibt die Frage, ob sie tot oder nur scheintot sei, immer zweifelhaft. Wenn wir nach einem jener verderblichen Nachtfröste des Mais unsere Obstbäume besichtigen, vermögen wir es den Blüten nicht anzusehen, ob sie erfroren sind oder nicht; erst wenn die Entwicklung ausbleibt, der Fruchtknoten schwarz wird und die Blüte abfällt, sehen wir den Tod. Ebensowenig können wir es einem Samenkorn ansehen, ob es lebendig d. h. keimfähig ist; nur der Versuch, es unter passenden Bedingungen zum Keimen zu bringen, entscheidet, und auch dieser nicht vollkommen; wenn die Keimung ausbleibt, können wir nicht sagen, ob der Samen schon vorher tot war oder erst nach dem Aussäen abgestorben ist. Auch bei Lebewesen, welche mehr in die Augen fallende Lebenserscheinungen aufweisen: Atembewegungen, Puls u. d. g. bei höheren Tieren, können diese vorübergehend fehlen oder doch so schwach sein, dass sie sich der Beobachtung entziehen, wie es im Winterschlaf oder bei tiefen Ohnmachten der Fall ist.[1])

Als echten Scheintod können wir die Zustände des Samenkorns bis zu seiner Keimung oder die der eingetrockneten oder encystierten Amöbe bezeichnen. Sehr passend ist für diese Zustände der alte Name „Vita minima", da in ihnen die Lebenserscheinungen auf ein sehr geringes Maß, das sich unserer Beobachtung entzieht, eingeschränkt sind. Etwas vom Leben muss noch vorhanden sein, da alle diese scheintoten Wesen durch Schädlichkeiten, welche auch bei vollem Leben tötlich sind, abgetötet werden. Samenkörner, die man sehr lange Zeit auf 100^0 erhitzt hat, keimen nicht mehr; encystierte Amöben starben bei längerer Erwärmung auf 75^0 ab.

10. Tötung durch Wasserentziehung und andere Schädigungen.

10. Nicht nur Amöben, sondern auch andere Lebewesen, Infusorien, Spalt- und Sprosspilze, besonders aber deren Sporen, können durch Eintrocknen in einen Zustand versetzt werden, in welchem sie sehr lange am Leben bleiben, ohne Lebenserscheinungen zu zeigen und

[1]) Die Nachrichten von länger anhaltendem Scheintod bei Menschen sind mit großer Vorsicht aufzunehmen. Die vielen Erzählungen von lebendig Begrabenen und nach längerer Zeit wieder Erwachten haben sich da, wo genauere Untersuchung der Fälle möglich war, immer als Fabeln erwiesen. Das Gleiche gilt von den Berichten über die indischen Fakire, die sich angeblich willkürlich in Scheintod versetzen und eingemauert wochenlang in diesem verbleiben sollen. Sie sind durchaus nicht so sicher beobachtet worden, dass Täuschungen als ausgeschlossen gelten können. Fälle von Starrkrampf, bei denen Menschen tagelang ohne Nahrung bewegungslos verharren, sind beobachtet worden; doch sind in solchen Fällen Atmung und Puls, wenn auch sehr schwach, vorhanden und bei genauer Untersuchung immer nachweisbar.

aus dem sie wieder zu neuem Leben erwachen, wenn sie wieder Wasser aufnehmen.

In sehr schöner Weise zeigen diese vorübergehende Einstellung der Lebenserscheinungen auch manche kompliziertere Lebewesen. Pflanzen, welche in sehr trockenen, regenarmen Gegenden wachsen, sind meistens mit besonderen Schutzeinrichtungen versehen, welche allzugroße Wasserverluste verhindern. Andere aber, z. B. die auf den Hochebenen Centralamerikas wachsende *Selaginella lepidophylla*, eine zu den Bärlappgewächsen gehörige kryptogame Pflanze, kann vollkommen lufttrocken werden, ohne zu sterben; sie verharrt in eingeschrumpftem Zustand monatelang und lebt wieder auf, wenn sie durchfeuchtet wird. Ein ähnliches Beispiel aus der Tierwelt bieten die Bärtierchen oder Tardigraden, welche zu den Arthropoden gehören. Wenn das Wasser oder die feuchte Erde, in welcher sie leben, eintrocknet, stellen sie ihre Lebensfunktionen ein, können aber, durch die Chitinhaut vor vollkommenem Wasserverlust geschützt, sehr lange Zeit lebensfähig bleiben, um bei erneuter Wasserzufuhr wieder aufzuleben.

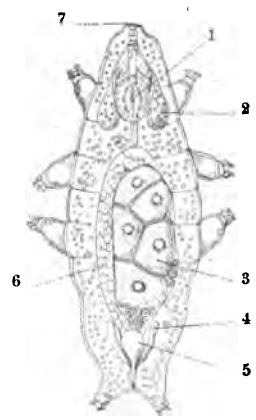


Fig. 47.

Bärtierchen; Macrobiotus Schultzei. 1 Schlundkopf; 2 Speicheldrüsen; 3 Eierstock; 4 Malphigi'sche Schläuche; 5 Drüse; 6 Darm; 7 Mund.

Pflanzensamen sind oft sehr wasserarm; entzieht man ihnen aber alles Wasser, so sterben sie.[1]) Bei höheren Tieren und Pflanzen tritt in der Regel der Tod schon ein, ehe sie vollkommen wasserfrei geworden sind, und zwar um so eher, je schneller die Wasserentziehung erfolgt.

Auch diese Erscheinungen zeigen wieder sehr deutlich die Wichtigkeit der vollkommenen Durchtränkung der lebenden Substanzen mit Wasser. Ist dieses nicht in genügender Menge vorhanden, so können die Diffusionsvorgänge, welche zur Unterhaltung der den Lebensprozess begleitenden chemischen Umsetzungen notwendig sind, nicht stattfinden; das Leben erlischt oder wird auf jenen geringen Grad herabgesetzt, welchen wir als Scheintod bezeichnet haben. Daher sind alle Lebewesen, welche auf längere Stillstände in dem Ablauf der Lebenserscheinungen eingerichtet sind, wasserarm und durch feste Schalen vor allzustarkem Wasserverlust geschützt, während diese Schalen zugleich den Zutritt des Sauerstoffs zu der Protoplasmasubstanz vermindern und sie daher vor schneller Zerstörung schützen. Das Gleiche gilt auch für Teile von Lebewesen, die auf längere Ruhezustände eingerichtet sind, z. B. Knospen.

[1]) Die Wasserentziehung muss, damit der Versuch beweiskräftig sei, bei niedriger Temperatur erfolgen, da höhere Temperaturen an sich schädlich sind.

Auch die Samen vieler Pflanzen und Eier mancher Tiere sind häufig in derbe Cysten eingeschlossen und können innerhalb derselben lange Ruhezustände überdauern, um dann bei eintretender Durchfeuchtung zu neuem Leben, d. h. in diesen Fällen zur Entwickelung neuer Individuen, zu erwachen.

Dass auch höher organisierte Lebewesen (Frösche u. a.) vollkommene Eintrocknung ertragen, ohne zu sterben, ist oft behauptet worden, hat sich aber nicht bestätigt. Sie können den Verlust eines großen Teils ihres Wassergehalts ohne Schaden ertragen, vorausgesetzt, dass derselbe sehr langsam erfolgt, während sie bei schneller Eintrocknung viel früher zu Grunde gehen.

Während fast alles Protoplasma im feuchten Zustande schon bei Temperaturen von 40—45° getötet wird, fand Hoppe-Seyler in den heißen Dämpfen der Fumarolen von Casamicciola auf Ischia lebende Algen bei Temperaturen von 64,7° und andere lebende Pflanzen in Wasser von 53°. Spaltpilze ertragen Temperaturen von 60° längere, höhere Temperaturen wenigstens kürzere Zeit; wenn sie aber vorher eingetrocknet waren, sterben sie selbst bei 100° erst nach längerer Zeit ab. Das Gleiche gilt von den lufttrocknen Samen höherer Pflanzen. Je niederer die Temperatur, desto länger muss sie einwirken, um sicher zu töten. Abkühlung bis auf +4° hat stets die Folge, dass protoplasmatische Gebilde ihre Bewegungen einstellen; sie erlangen sie aber wieder, wenn die Temperatur steigt. Durch Gefrieren gehen niedere Lebewesen um so schneller zu Grunde, je wasserreicher sie sind; wasserarme bleiben am Leben, selbst wenn sie auf Temperaturen, die mehrere Grade unter dem Nullpunkt liegen, abgekühlt werden; jedoch muss sowohl das Abkühlen wie das Wiederauftauen sehr langsam erfolgen. Man findet deshalb in dem Eise unserer Flüsse, Teiche u. s. w. oft lebensfähige Bakterien und auf den Gletschern und Schneefeldern der Schneeregionen allerlei Lebewesen. Auch von Fröschen, Fischen und andern hochorganisierten Tieren ist behauptet worden, dass sie einfrieren können, ohne zu sterben; es scheint aber, dass in den betreffenden Versuchen die Tiere selbst (d. h. das Wasser ihrer Gewebe) noch nicht gefroren waren.[1]) Demgegenüber gibt allerdings Raoul Pictet an, dass Fische eine Abkühlung auf —15°, Frösche eine solche von —28° ertragen, ohne zu sterben. Bakterien sollen sogar bei —200° noch am Leben geblieben sein.

Warmblüter (auch Menschen) sterben schon, wenn die Temperatur

[1]) Lässt man Fische, Wasserkäfer u. dgl. in Wasser einfrieren, so bleibt um die Tiere herum ein kleiner Raum von flüssigem Wasser, weil die Tiere selbst Wärme produzieren. Erst nach längerem Verweilen in Temperaturen von etwa —4° gefrieren schließlich die Tiere wirklich.

ihres Körpers bis auf 24 ° abgekühlt wird, wenn dies schnell erfolgt; bei sehr langsamer Wärmeentziehung kann die Abkühlung, ohne zu töten, noch einige Grade tiefer getrieben werden. Bei sehr langsamer Abkühlung verfallen manche Warmblüter in den Winterschlaf. Häufiger noch ist der Winterschlaf bei Mollusken, Insekten, Amphibien und Reptilien, welche bei Beginn der kalten Jahreszeit in Höhlen, in der Erde oder in Schlamm Überwinterungsorte aufsuchen, an denen die Temperatur in der Regel noch etwas über dem Gefrierpunkt bleibt.

Während die zarten wasserreichen Teile unserer meisten Pflanzen, wie Blüten, krautartige Stengel u. d. g. sehr empfindlich gegen Frost sind, können andere Teile derselben ohne Schaden sehr niedere Temperaturen ertragen. Dass die Mehrzahl der Lebenserscheinungen der Pflanzen bei Abkühlung unter eine gewisse Temperaturgrenze zum Stillstand kommt, ist allgemein bekannt. Man kann dies als eine dem Winterschlaf der Tiere analoge Erscheinung auffassen. Die tropischen Pflanzen zeigen in der Regel gleichfalls eine Periodizität in der Energie des Wachstums und anderer Lebenserscheinungen, welche meist mit dem an ihren Standorten vorkommenden Wechsel der atmosphärischen Niederschläge zusammenhängt.

Da Erwärmung auf ungefähr 45 ° in allem Protoplasma eine sichtbare Veränderung hervorruft, bei welcher ein Teil der Substanz sich in fester Form ausscheidet, und da alle chemischen Einwirkungen, welche eine ähnliche Veränderung herbeiführen, gleichfalls das Leben vernichten, so kann man wohl sagen, dass das Leben an eine bestimmte chemische Beschaffenheit der im Protoplasma enthaltenen Stoffe gebunden sei, und dass jene Veränderungen die Ursache des Todes seien. Aber wir sind außer Stande, diese Beschaffenheit näher zu bezeichnen. Da alle Methoden zur Isolierung und Untersuchung der chemischen Bestandteile des Protoplasmas die Lebenserscheinungen aufheben, so kennen wir eben die chemische Konstitution der lebenden Substanz selbst nicht. Wir haben nur gewisse Anhaltspunkte zur Vermutung, dass Stoffe von der Art der genuinen Proteine dabei eine wichtige, wahrscheinlich die Hauptrolle spielen.

11. Kolonieen von Lebewesen.

11. Wir wollen hier die Betrachtung der Lebenserscheinungen der einfachen Lebewesen vorläufig abbrechen und eine Anzahl von Thatsachen besprechen, welche mit der Vermehrung durch Teilung zusammenhängen. Stellen wir uns vor, dass die durch Teilung entstandenen, untereinander gleichen oder höchstens durch geringe, unwesentliche Unterschiede voneinander abweichenden Gebilde, statt jedes ein selbständiges Leben, getrennt von den andern, zu führen, beieinander bleiben. Es entsteht dann etwas, das wir füglich eine Kolonie nennen können. Die einzelne Amöbe ist von

der Außenwelt und ebenso von jeder andern Amöbe verschieden; sie hat diesen gegenüber eine gewisse Selbständigkeit. Wir können sie deshalb ebensogut wie ein Kaninchen als Individuum oder auch als eine Person[1]) bezeichnen. Die Kolonie würde dann aus einer Anzahl von Individuen oder Personen bestehen; sie stellt aber zugleich, der Außenwelt gegenüber, eine neue Einheit, gleichsam ein Individuum höherer Ordnung dar. Dies wird noch deutlicher, wenn wir uns mehrere Kolonien denken, deren jede aus einer Anzahl von Individuen besteht. Solche Kolonieen können einander gleich oder voneinander verschieden sein, entweder nur in der Anzahl der Individuen oder auch in der Beschaffenheit derselben. Bezeichnen wir jede einzelne Person mit dem Namen A. Eine größere Anzahl derselben, wie sie etwa durch wiederholte Teilungen aus einer Amöbe hervorgehen könnte, von denen eine jede ein selbständiges Dasein führt, würde dann dargestellt werden können durch das Schema:

A A A A A A A A A A A A A A A A A A A A

Dagegen eine Kolonie von, sagen wir, 20 solchen Personen, die auf irgend eine Art gesellig beisammen bleiben und ein gemeinsames Leben führen, würde durch ein Bild, wie es dieser Kreis zeigt, dargestellt werden können.

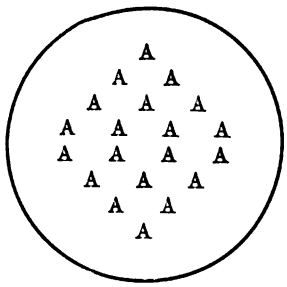


Fig. 48.

[1]) Der Ausdruck Individuum enthält den Begriff der Unteilbarkeit nicht etwa in dem Sinne wie der Begriff Atom, d. h. dass wir jede Art von Teilung für absolut unmöglich erklären; wir wollen nur sagen, dass die Teilung nicht ohne Störung der dem ganzen Wesen zukommenden Eigenschaften möglich sei. Wie weit dies für die Amoeben oder ihnen ähnliche Lebewesen wirklich zutrifft, werden wir noch zu untersuchen haben. Ungefähr in derselben Bedeutung gebrauchen wir auch den Begriff Person. Mehrere in irgend einer Gemeinschaft lebende Individuen oder Personen können voneinander getrennt werden, ohne dass eine jede aufhört, ein Individuum oder eine Person zu sein. Wenn wir aber ein einzelnes Individuum oder eine Person zu teilen versuchen, dann sind die Teile nur noch Bruchstücke, keine ganzen Individuen oder Personen mehr. In manchen Fällen können sie trotzdem weiter bestehen, zu neuen Individuen oder Personen werden.

Fälle dieser Art, bei welchen die einzelnen durch Teilung entstandenen Lebewesen ihre Selbständigkeit bewahren, auch wenn sie beieinander bleiben, trifft man häufig bei Bakterien an. Bakterien, Spaltpilze oder Schizomyceten (Fig. 49) sind außerordentlich kleine pflanzliche Gebilde von stäbchenförmiger (Bazillen) oder mehr kugliger Gestalt (Kokken). Ihr von einer festen Membran umhüllter Leib besteht zum größten Teil aus Kernsubstanz, während das Protoplasma sehr spärlich ist. Manche tragen an ihrem einen oder an beiden Enden Geißeln.[1]) Ihre Vermehrung erfolgt durch Spaltung, daher der Name Spaltpilze. Bleiben die Teilstücke zusammen, so entstehen Fäden oder Haufen, deren Einzelzellen durch eine Art von Gallertsubstanz zusammmengehalten werden. Ähnlich ist es bei den Spaltalgen oder Schizophyceen, bei denen die Spaltung innerhalb der gallertartig aufquellenden

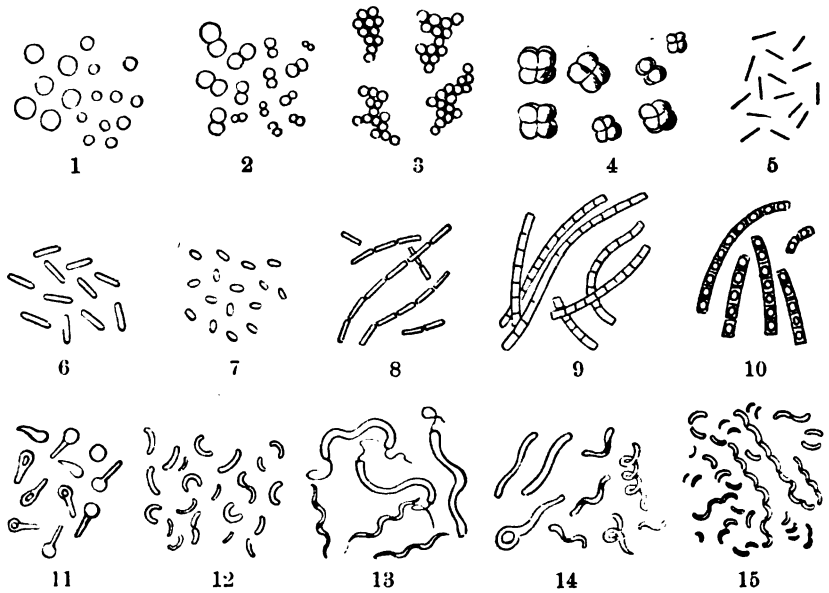


Fig. 49.

Verschiedene Bakterienformen (schematisch).
1—4 Kokken- oder Kugelformen; 5—15 Stäbchen- oder Bazillenformen; 13 gewundene Stäbchen (Spirillen) mit Geißeln; 14 Korkzieherformen; 15 Kommaformen.

Kapseln vor sich geht (Fig. 50). Diese letzteren Formen entsprechen vollkommen dem, was wir eine Kolonie aus lauter gleichartigen Gliedern genannt haben. Zwischen diesen Zellkolonieen und den eigentlichen Geweben der höheren Pflanzen und Tiere, von welchen im folgenden Kapitel die Rede sein wird, giebt es alle möglichen Zwischenstufen.

[1]) Von den Geißeln wird im folgenden Kapitel die Rede sein.

In einer Kolonie bewahrt jedes Individuum seine Selbständigkeit soweit, dass es bei gelegentlich vorkommender Teilung oder gewaltsamer Trennung der Kolonie für sich allein weiter zu leben oder durch Vermehrung auf dem Wege der Teilung eine neue Kolonie zu erzeugen vermag. Die einzelnen Personen können sich aber auch nach verschiedenen Richtungen verändern, so dass eine Kolonie von differenten Individuen mit verschiedenen Eigenschaften entsteht. Betrachten wir z. B. das Lebewesen, welches unter dem Namen *Volvox globator* bekannt ist (Fig. 51).

In einer aus durchsichtigem Schleim gebildeten Hohlkugel befinden sich eine Anzahl Gebilde, von denen die äußeren je zwei aus der Hülle hervorragende Geißeln tragen, durch deren lebhafte, peitschenartige Bewegung die ganze Kolonie in rotierender Bewegung

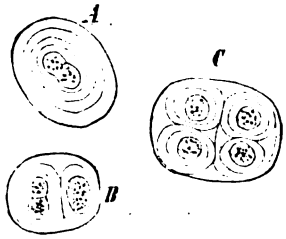


Fig. 50.

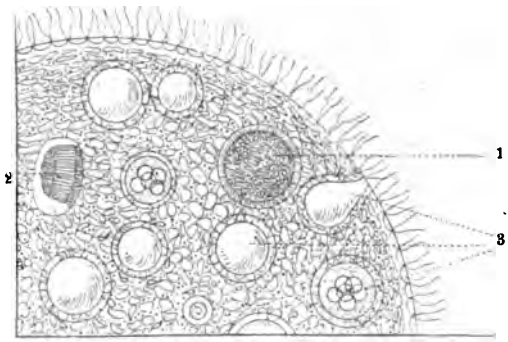


Fig. 51.

Fig. 50. Gloeocapsa polydermatica, eine Spaltalge, auf feuchten Felsen oder Mauern vegetierend; die Zelle ist von einer gallertartigen Membran umhüllt. Bei der Teilung umgiebt sich jede neue Zelle mit einer solchen Membran, und diese werden von der gemeinsamen Hülle umschlossen. *A* Beginn der Teilung; *B* und *C* weitere Teilungsstadien.

Fig. 51. Volvox globator, ein Viertel der ganzen, eine in der Gallerthülle eingeschlossene Kugel darstellenden, Kolonie. Die oberflächlich gelegenen Zellen mit Cilien versehen, welche aus der Gallerthülle hervorragen und zur Bewegung des ganzen Zellhaufens dienen. Im Innern Eizellen und Zoosporenbündel; in ersteren entstehen Eier, in letzteren Zoosporen durch deren Verschmelzung die Fortpflanzung zu stande kommt. 1 Zoosporenbündel, von der Fläche gesehen; 2 Seitenansicht; 3 Oospore.

erhalten wird. Im Innern der Kugel findet man freischwimmende sogenannte Tochterkolonieen. Dieselben sind durch wiederholte Teilung sehr kleiner Körper entstanden, welche zwischen den größeren zu sehen sind. Ein solches Körperchen teilt sich erst in zwei, dann in vier u. s. w. Teile. Später zerfällt die große Kolonie, die Tochterkolonieen werden frei und wachsen allmählich zu großen Kolonieen heran, um dann dieselben Erscheinungen wieder von neuem zu zeigen. Daneben kommt geschlechtliche Fortpflanzung durch die Zoo- und Oosporen vor.

12. Eine derartige Entstehung von Gebilden durch mehrfache Teilung und nachfolgende Abänderung nach verschiedenen Richtungen 12. Entwicklung.

nennen wir Entwicklung. Bei der Amöbe konnten wir die Erscheinung der Entwicklung nicht beobachten. Denn jede Amöbe, wie sie durch Teilung aus einer andern hervorgeht, ist sogleich fertig. Sie kann noch wachsen und sich wieder teilen, andere Veränderungen geht sie nicht ein. Wenn aber aus der Teilung eines anfangs von der Amöbe nicht verschiedenen Individuums Teilstücke entstehen, die beieinander bleiben, aber sich nach verschiedenen Richtungen verändern, dann entsteht eine Gemeinschaft, die wir nicht mehr mit den allereinfachsten Kolonieen vergleichen können. Eher zeigen sie Ähnlichkeit mit Gemeinwesen von der Art unserer bürgerlichen Gesellschaft, welche nicht aus lauter gleichen Individuen besteht. In dieser Gesellschaft hat zwar jedes Individuum einen gewissen Grad von Selbständigkeit bewahrt, es hängt aber doch von seinen Genossen in hohem Maße ab; die einzelnen Individuen sind aufeinander angewiesen. Denn jedes Individuum besorgt nur einen Teil der Verrichtungen, welche zur Erhaltung des Gemeinwesens erforderlich sind, und nur durch das Zusammenwirken aller Glieder der Gemeinschaft kommen die Leistungen des Ganzen zu stande. Darum könnte keines der Individuen, von den andern getrennt, längere Zeit allein in derselben Weise weiter leben, wie es in der Gemeinschaft gelebt hat. Der Ackerbauer bedarf des Handwerkers, welcher ihm seine Kleider und Werkzeuge macht, beide bedürfen des Kaufmanns, welcher den Austausch ihrer Produkte vermittelt und ihnen Rohmaterialien für ihr Gewerbe oder Waaren für den Verbrauch zuführt, u. s. w. u. s. w.

Aus dieser ungleichen Entwicklung und der mit ihr verbundenen Arbeitsteilung ergeben sich für die Gemeinschaft als Ganzes erhebliche Vorteile. Indem jedes Glied der Gemeinschaft nicht mehr für alle Verrichtungen in Anspruch genommen wird, nicht jeder mehr sein eigener Ackerbauer, Fischer, Jäger, Schneider oder Schuster zu sein braucht, sondern nur eine dieser Verrichtungen für sich und zugleich für andere betreibt, erlangt jedes Individuum für die ihm zufallenden Verrichtungen, zugleich aber auch die Gesellschaft als Ganzes, größere Leistungsfähigkeit, als es ohne diese Arbeitsteilung möglich wäre.

Eine ganz ähnliche Entwicklung findet sich auch bei vielen durch Teilung aus einem Individuum hervorgegangenen Kolonieen von Lebewesen. Zuweilen geht die Arbeitsteilung nicht sehr weit. Die Individuen bleiben einander ähnlich, der Verband bleibt ein lockerer, so dass ein einzelnes Individuum, wenn es von der Kolonie getrennt wird, weiter bestehen kann. In anderen Fällen dagegen büßen die Individuen ganz und gar ihre Selbständigkeit ein, so dass sie nur noch als Teile der Gemeinschaft leben können. Sie hören

also auf, Individuen in der ursprünglichen Bedeutung des Wortes zu sein. Was wir zuerst als Kolonie ansehen konnten, die Gemeinschaft der durch Teilung entstandenen Gebilde, ist ganz und gar ein Individuum höherer Ordnung geworden. In diesem Fall, welcher gerade für die höher organisierten Lebewesen zutrifft, haben sich die durch Teilung entstandenen Gebilde nach ganz verschiedenen Richtungen und in sehr ungleicher Weise entwickelt. Einige sind fast unverändert geblieben, andere haben sich in Form und Eigenschaften so stark verändert, dass die ursprüngliche Gleichheit und die gemeinsame Abstammung kaum noch erkennbar ist. Dabei entstehen aber in den Gebilden nicht etwa ganz neue Eigenschaften, sondern diese sind sozusagen nur einseitige Entwicklungen der Grundeigenschaften, welche das ursprüngliche Individuum besessen hat. In dem Maße, als einzelne dieser Eigenschaften zu hoher Ausbildung gelangen, gehen andere zurück oder ganz verloren. So entstehen Gebilde mit spezifischen Eigenschaften, welche nur durch ihr Zusammenwirken das Leben des Gesamtindividuums ermöglichen, dafür aber auch viel höherer Leistungen fähig sind. Gerade dadurch ist der Vergleich eines solchen Individuums höherer Ordnung mit der heutigen bürgerlichen Gesellschaft ein so treffender.

13. Wir können die allmählich sich herausbildende Vielheit der Gebilde aus den durch Teilung entstandenen ursprünglich gleichartigen morphologisch verfolgen. Wir wissen, dass ein so kompliziertes Tier wie das Kaninchen aus einem Ei hervorgeht, das in seinem Bau und in seinen Eigenschaften mit einer Amöbe Ähnlichkeit hat.[1]) Aus dem Ei entstehen zunächst durch wiederholte Teilungen eine große Zahl einander gleicher Gebilde; wir nennen sie Zellen. Eine jede Zelle besteht, wie die Amöbe, aus Protoplasma und Kern mit Kernkörperchen. Aber diese Zellen entwickeln sich nach verschiedenen Richtungen, sie differenzieren sich, wie der Kunstausdruck lautet; so entstehen aus ihnen die verschiedenen Gewebe und die aus den Geweben aufgebauten Organe. Die morphologische Untersuchung dieser allmählichen Entstehung der Gewebe und Organe in ihrer zeitlichen Folge und der aus dieser Entwicklung sich ergebenden Körperform eines Lebewesens bildet den Inhalt der Entwicklungsgeschichte. Hand in Hand mit der morphologischen Differenzierung geht die physiologische Differenzierung oder, wie wir auch sagen können, die physiologische Arbeitsteilung vor sich. Die physiologischen Eigenschaften der Zellen und der aus ihnen hervorgehenden Gewebe zu erforschen ist

13. Zellen, Gewebe, Organe.

[1]) Bei anderen Tieren ist die Übereinstimmung noch größer, doch trifft das Gesagte im wesentlichen für alle komplizierten Lebewesen zu.

Gegenstand der allgemeinen Physiologie, während die Beschreibung der Leistungen der Organe und ihres Zusammenwirkens in einem bestimmten Lebewesen den Inhalt der speziellen Physiologie des betreffenden Lebewesens bildet.

Da manche Lebewesen nicht zur Bildung von Geweben oder gar Organen gelangen, sondern die durch Teilung entstehenden Individuen entweder sich sofort voneinander trennen und einzeln oder höchstens als Kolonieen untereinander wenig oder gar nicht differenzierter Individuen weiterleben, so können wir alle Lebewesen in Einzellige und Vielzellige einteilen. Manche Forscher haben dafür auch die Namen Monoplastiden und Polyplastiden eingeführt, während die meisten Biologen entweder alle einzelligen Lebewesen unter den Namen der Protisten zusammenfassen oder auch die Einteilung in Pflanzen und Tiere in den Vordergrund stellen und dementsprechend die ersteren in Proto- und Metaphyten, die letzteren in Proto- und Metazoen einteilen.

Die einzelligen Lebewesen bieten uns Gelegenheit, die Grundeigenschaften der Zellen bis zu einem gewissen Grade zu erforschen. Es zeigt sich ferner, dass selbst bei den kompliziertesten Tieren einzelne Zellen vorkommen, welche noch die wesentlichsten Grundeigenschaften bewahrt haben, die sich deshalb auch von Amöben so wenig unterscheiden, dass sie mit ihnen leicht verwechselt werden können. Dies gilt z. B. von den § 4 erwähnten Leukocyten. Andere dagegen haben infolge der Arbeitsteilung einzelne Eigenschaften so beträchtlich entwickelt, dass wir sie an ihnen besser erforschen können als an den ursprünglichen, sozusagen noch vollkommen neutralen Zellen. Daher ist neben dem Studium der Protisten gerade die genauere Untersuchung der Eigenschaften der Gewebe die hauptsächlichste Grundlage der allgemeinen Physiologie geworden.

Dreizehntes Kapitel.

Zellen, Zellgemeinschaften und Gewebe.

1. Seitdem festgestellt worden ist, dass die komplizierten Lebewesen sich aus einer Zelle entwickeln, und dass die Gewebe derselben aus Teilen bestehen, welche entweder noch unveränderte Zellen sind oder Abkömmlinge derselben, hat man sich fast allgemein daran gewöhnt, die Zelle als das kleinste und einfachste Gebilde anzusehen, an welchem Lebenserscheinungen sich vollziehen können. In der That spielen sich ja bei den Protisten alle Lebenserscheinungen innerhalb einer einzelnen Zelle ab. Die Körper der vielzelligen Lebewesen oder Polyplastiden dagegen sind nicht nur morphologisch aus einer Summe von einzelnen Zellen oder Zellderivaten zusammengesetzt, sondern jede Zelle bewahrt auch physiologisch noch eine gewisse Selbständigkeit, sozusagen ein Leben für sich, was freilich nicht ausschließt, dass die einzelnen Zellen sich gegenseitig beeinflussen und voneinander, bald mehr, bald weniger, abhängig sind. Hieraus erklärt es sich, dass einzelne Teile eines zusammengesetzten Lebewesens, unter Umständen einzelne Zellen, von ihrem Ganzen abgelöst, noch mehr oder weniger lange ihre Lebenseigenschaften zu bewahren und für sich allein weiter zu leben imstande sind. So setzen, um nur einige Beispiele zu nennen, die im vorigen Kapitel erwähnten Leukocyten ihre Bewegungen in einem durch Einstich aus einem lebenden Körper gewonnenen Blutstropfen fort; an losgelösten Flimmerepithelzellen (s. § 7) kann man die Bewegungen noch lange unter dem Mikroskop verfolgen u. s. w. Ähnliches gilt von ganzen, aus dem Verband eines Organismus losgelösten Organen, Muskeln u. a. Sie alle können, wenn auch nur begrenzte Zeiten, weiterleben, namentlich, wenn einigermaßen für ihre Ernährung, Erhaltung der passenden Temperatur u. s. w. gesorgt werden kann. Dieses Überleben der Organe, wie man es genannt hat, ist von großem Nutzen für die Forschung geworden, denn es gewährt die Möglichkeit, die Lebenseigenschaften der einzelnen Organe, Gewebe, Zellen genauer zu untersuchen, als dies in

1. Die biologische Einheit.

dem verwickelten Getriebe der ganzen komplizierten Organismen geschehen kann.

Nun haben aber die Untersuchungen der neueren Zeit gelehrt, dass die Zellen selbst eine verwickelte Struktur haben. Man hat in ihnen außer den schon seit lange bekannten Hauptelementen, Kern, Protoplasma und eventuell Zellmembran, noch allerlei Körnchen, Fäden u. s. w. aufgefunden, über deren Bedeutung freilich die Ansichten der Morphologen noch sehr weit auseinander gehen. Doch neigt die große Mehrzahl der Forscher dahin, viele oder alle diese zum geringen Teil an frischen Präparaten, meist erst nach allerlei Vorbereitungen durch Reagentien und Färbemittel sichtbar werdenden Gebilde als wahre Strukturbestandteile der Zellen anzuerkennen. Man versteht also heutzutage unter dem Begriff Zelle nicht mehr einen von Flüssigkeit erfüllten, durch feste Wände begrenzten Hohlraum, wie dies die ersten Beobachter der Zellstruktur der Pflanzen und Tiere thaten, auch nicht, wie dies in späteren Zeiten der Fall war, ein Klümpchen lebenden, um einen Kern gruppierten Protoplasmas. Vielmehr halten heutzutage die Forscher die Zelle für eine kleine Masse lebender Substanz von sehr verwickelter Struktur, und die Abweichungen in den Meinungen betrifft nur die Frage, welchen von diesen Strukturteilen wesentliche Bedeutung zukomme und welchen nicht. Manche Biologen gehen aber weiter. Sie wollen nicht die zusammengesetzte Zelle als die letzte biologische Einheit ansehen, sondern vielmehr jene kleineren Strukturelemente innerhalb derselben. Sie nehmen an, dass es lebende Gebilde von einfacherem Bau als die Zelle geben könne, und dass diese mit jenen Zellteilen identisch seien. Die Sache wäre natürlich sofort entschieden, wenn durch sichere Beobachtung festgestellt wäre, dass jene Elemente im freien Zustande, d. h. nicht miteinander zu Zellen vereinigt, ein selbständiges Leben zu führen imstande seien. Das ist aber bis jetzt nicht geschehen. Und es ist auch gar nicht wahrscheinlich, dass es noch gelingen wird. Je besser wir das kennen lernen, was wir Lebenserscheinungen nennen, desto mehr sehen wir ein, dass es sich um sehr verwickelte Vorgänge handelt. Diese zu zerlegen, auf einfachere, besser bekannte Erscheinungen, aus denen sie sich zusammensetzen, zurückzuführen, ist die eigentliche Aufgabe der physiologischen Forschung. Nun erfordert jeder Vorgang, auch der allereinfachste, das Zusammenwirken von mindestens zwei verschiedenen Körpern. Ein einzelner Körper, isoliert im Weltenraume vorhanden, von keinem anderen beeinflusst und auf keinen anderen wirkend, verharrt entweder in seinem Zustand oder zeigt nur Vorgänge, welche Folgen früherer Einwirkungen sind. Treten aber neue Vorgänge auf, so

muss der Körper, an welchem sie zur Erscheinung kommen, selbst zusammengesetzt sein, d. h. er muss aus differenten Bestandteilen bestehen. Je mannigfaltiger die Erscheinungen sind, desto mehr ist zu vermuten, dass ein solcher Körper einen sehr verwickelten Bau habe. Wir dürfen uns also nicht darüber wundern, dass die Zelle, an der wir so mannigfaltige Erscheinungen kennen gelernt haben, einen sehr verwickelten Bau hat, und wir dürfen es als sehr wahrscheinlich ansehen, dass, wenn einer oder der andere ihrer Bestandteile selbständig zu leben imstande wäre, er auch nicht einfach, sondern selbst wieder zusammengesetzt sein müsste.

Wir können ein zusammengesetztes Gebilde, an welchem Vorgänge bestimmter Art ablaufen, eine Maschine nennen und können daher auch die Zelle als eine Maschine bezeichnen.[1]) Was uns das Mikroskop als Strukturbestandteile der Zelle bis jetzt offenbart hat, das können vielleicht wichtige Teile ihres Mechanismus sein. Es ist aber auch möglich, dass gerade die wichtigsten Teile des Mechanismus überhaupt nicht sichtbar gemacht werden können, weil sie weder in ihrer Durchsichtigkeit, noch in ihrem Lichtbrechungsvermögen, noch in ihrem Verhalten gegen Farbstoffe und andre Reagentien hinlänglich voneinander verschieden sind oder weil ihre Größe unterhalb der durch mikroskopische Vergrößerung sichtbar zu machenden Grenze liegt. Auf keinen Fall aber haben wir das Recht, daraus, dass die Zelle eine Struktur besitzt, zu schließen, dass diese Strukturelemente selbständiges Leben führen könnten, ebensowenig, wie wir die einzelnen Räder u. s. w. einer Maschine für ganze Maschinen ansehen. Und da, wie schon gesagt, solche kleinere Teile noch niemals mit Sicherheit für sich allein als selbständig existierende Lebewesen nachgewiesen worden sind, so werden wir vor der Hand gut thun, bis auf weiteres die Zelle als die letzte uns bekannte biologische Einheit zu betrachten.

2. Die Zelle als Elementarorganismus.

2. Je weiter wir in der Erkenntnis des strukturellen Aufbaues der Zelle fortschreiten, desto besser werden wir imstande sein zu beurteilen, ob diese Formelemente als wesentliche Teile des Zell-

[1]) Damit soll natürlich keineswegs gesagt sein, dass die Zelle in allen Stücken mit den uns bekannten Maschinen übereinstimme. Es giebt sehr verschiedenartige Maschinen; in einigen laufen ausschließlich mechanische, in anderen auch chemische, elektrische oder sonstige Vorgänge ab. Wir stehen vorläufig der Zelle gegenüber wie ein Mensch ohne alle oder ohne ausreichende Kenntnisse einer komplizierten Maschine. Er sieht wohl, dass sie aus aufeinander und miteinander wirkenden Teilen besteht, aber er kann das Spiel des Mechanismus nicht verfolgen. Bei genügender Intelligenz und Ausdauer könnte er vielleicht dazu gelangen. Ob wir der Zelle gegenüber in näherer oder fernerer Zeit zu einer vollständigen Erkenntnis ihres Mechanismus gelangen werden, muss vorläufig noch unentschieden bleiben.

mechanismus anzusehen sind, welche durch ihr Zusammenwirken das Leben der Zelle ausmachen, wie bei den komplizierten Lebewesen die Organe durch ihr Zusammenwirken die verwickelten Lebenserscheinungen des ganzen Organismus hervorbringen. Wohl aber können wir schon jetzt nach Analogie der komplizierten Lebewesen von Organen der Zelle sprechen und diese selbst als einen Organismus betrachten. Ernst Brücke hat deshalb für die Zelle den sehr treffenden Namen Elementarorganismus vorgeschlagen, durch welchen deutlich ausgedrückt wird, dass in jeder Zelle schon, ähnlich wie in den komplizierten Lebewesen, ein Zusammenwirken einzelner Teile zu der Gesamterscheinung des Zelllebens vorausgesetzt wird. Indem wir diesen Ausdruck annehmen, können wir die einzelligen Lebewesen als einfache Organismen bezeichnen und ihnen die mehrzelligen als Organismen höherer Ordnung[1]) gegenüberstellen.

Die Vergleichung mit ähnlichen Verhältnissen der menschlichen Vergesellschaftungen, welche wir zur Erläuterung der physiologischen Arbeitsteilung benutzt haben, ist auch geeignet, die jetzt in Rede stehenden Beziehungen deutlicher zu machen. Ein Staat, eine bürgerliche Gemeinde, eine Korporation irgend welcher Art, werden nicht selten als Organismen bezeichnet. Dennoch besteht jede dieser Gemeinschaften aus Personen, welche jede für sich schon Organismen sind. In allen diesen Fällen sind also Organismen verschiedener Ordnungen zu unterscheiden, welche einander übergeordnet sind.

In dem Gesamtorganismus des Staats können die einzelnen Verwaltungszweige des Unterrichts, der Justiz, des Krieges, der Finanzen u. s. w. als Organe der Staatsverwaltung angesehen werden.[2]) Jedes dieser Organe ist wieder ein Organismus, bestehend aus verschiedenen Behörden, vom Ministerium und den Direktionen bis hinunter zu den untersten, und jede Behörde besteht wieder aus einzelnen Beamten, welche Glieder oder Organe des Organismus sind, zu welchem sie gehören, und dabei doch selbst komplizierte Organismen, lebende Menschen. In ähnlicher Weise können wir also auch von den Organen des Menschen und seinen letzten Elementen, den Zellen, sagen, dass sie Organismen seien, welche innerhalb des lebenden Körpers zu einem Organismus höherer Ordnung vereinigt sind.

---

[1]) Der Ausdruck „höherer Ordnung" hat nicht die Bedeutung einer höheren Rangstufe; er soll nur die größere Komplikation des Baues bezeichnen. Innerhalb eines komplizierten Organismus ist allerdings das Ganze den einzelnen Teilen (den Teilorganismen) übergeordnet.

[2]) Wir sehen bei dieser Vergleichung vollkommen ab von der Verfassung des Staates. Nur die Organisation der Verwaltungsbehörden soll Gegenstand der Vergleichung sein.

3. Wir haben es noch unentschieden gelassen, wie weit alle die feineren Strukturelemente, welche man innerhalb der Zelle kennen gelernt hat, als Organe derselben angesehen werden dürfen. Einiges über dieselben werden wir später zu besprechen Gelegenheit haben. In diesem Kapitel dagegen sollen nur solche Zellteile erwähnt werden, welche unzweifelhafte Zellorgane sind. Einige derselben, Kern und Protoplasma, kommen allen Zellen zu. Zwar nehmen manche Biologen an, dass es selbständige Lebewesen gebe, welche nur aus lebendem Protoplasma ohne Kern bestehen. Ist dem so, dann müssten wir diese Lebewesen als Organismen ansehen, bei denen die morphologische und physiologische Differenzierung zwischen Protoplasma und Kern noch nicht eingetreten wäre. Sie wären dann noch einfacher gestaltet als die einfachsten, bisher von uns betrachteten Lebewesen, die Amöben. Diese allereinfachsten der bis jetzt bekannten Lebewesen hatte Ernst Häckel unter dem Namen Moneren als erste Gruppe der Protisten zusammengefasst. Da es aber schon gelungen ist, bei einzelnen zu den Moneren gerechneten Lebewesen einen Kern nachzuweisen, und es vielleicht nur eine Frage der Zeit ist, ob dies nicht auch für die anderen, vorläufig noch als kernlos angesehenen Lebewesen gelingen werde, müssen wir die Frage, ob es selbständige Lebewesen gebe, welche kernlosen Zellen gleichzusetzen sind, noch als unentschieden bezeichnen. 3. Protoplasma und Kern.

Auch Zellen, welche Teile eines zusammengesetzten Lebewesens sind, haben oft keinen durch Färbung und ähnliche Hilfsmittel nachweisbaren Kern. In manchen Fällen, z. B. bei den in Kap. 11 § 5 beschriebenen roten Blutkörperchen oder Erythrocyten der Säugetiere ist im embryonalen Zustande ein deutlicher Kern vorhanden; derselbe verschwindet aber später, so dass die fertigen roten Blutkörperchen kernlos erscheinen. In anderen, scheinbar kernlosen Zellen kann man bei genügender Vergrößerung und passender Färbung statt eines Kernes eine große Zahl von äußerst winzigen Kernen im Protoplasma verteilt wahrnehmen. Wo auch das nicht gelingt, dürfen wir aber trotzdem nicht schließen, dass der ganze Zellleib chemisch, physikalisch und insbesondere biologisch eine homogene Masse sei. Wir haben schon darauf hingewiesen, welche Grenzen der mikroskopischen Differenzierung gesteckt sind. Wir unterscheiden nebeneinander gelegene Teile eines mikroskopischen Objekts, wenn sie irgend einen Unterschied in ihrem optischen Verhalten besitzen und ihre Dimensionen nicht unter einer bestimmten, von der Beschaffenheit des Mikroskops abhängigen Größe bleiben. Sind die Teile optisch nicht verschieden, so können sie es nach Einwirkung von Reagentien werden. Nun sprechen viele Erfahrungen

dafür, dass die beiden Substanzen, aus denen die Zelle besteht, Protoplasma und Kern, in der That gewisse chemische Verschiedenheiten besitzen. Darauf beruht die Möglichkeit, durch Einwirkung von Reagentien, insbesondere gewisser Farbstoffe, sie optisch so verschieden zu machen, dass sie auch da getrennt wahrgenommen werden können, wo dies vor der Einwirkung der Reagentien nicht möglich war. Wenn aber die beiden, chemisch verschiedenartigen Stoffe in so feiner Verteilung miteinander gemischt sind, dass auch nach Herstellung einer optischen Verschiedenheit jedes Partikelchen unterhalb der Grenze der sichtbaren Größe bleibt, so werden sie ebensowenig getrennt wahrgenommen werden können, wie wir in einem innigen Gemenge zweier verschieden gefärbter Pulver die einzelnen Körnchen getrennt wahrnehmen, wenn diese durch feine Pulverisierung unter eine gewisse Größe gebracht worden sind. Dieser Fall kann natürlich auch dann eintreten, wenn in einem früheren Stadium des Zelllebens die beiden Bestandteile noch deutlich getrennt nebeneinander vorhanden waren. Wenn also, wie oben gesagt wurde, in jugendlichen roten Blutkörperchen Kerne sichtbar sind, in älteren aber nicht mehr, so dürfen wir nicht behaupten, die Kerne seien verloren gegangen. Es kann sehr wohl sein, dass Kernsubstanz und Protoplasmasubstanz noch genau in demselben Maße wie vorher vorhanden sind, aber so miteinander vermischt, dass sie scheinbar eine einzige, homogene Masse bilden, gerade so, wie in unserem Beispiel von den farbigen Pulvern ein Gemenge von gelbem Ocker und blauem Ultramarin als ein gleichmäßiges grünes Pulver erscheinen kann.

Wo aber der Kern als ein deutlich abgegrenztes Gebilde in einer Zelle sichtbar ist, da kommen ihm sicher im Leben der Zelle auch bestimmte, von denen des Protoplasmas verschiedene Verrichtungen zu. Er spielt besonders bei den Zellteilungen eine hervorragende Rolle, wovon später noch die Rede sein wird. Er scheint aber außerdem für die Erhaltung des normalen Lebens der Zelle durchaus notwendig zu sein.

Bei etwas größeren einzelligen Lebewesen gelingt es durch künstliche Teilung ein oder mehrere Stücke des Protoplasmas so abzutrennen, dass man kernlose Abschnitte mit kernhaltigen vergleichen kann. Das Gleiche kann man zuweilen bei pflanzlichen Zellen durch Plasmolyse herbeiführen. In allen solchen Fällen bleiben die Lebenserscheinungen an diesen wie an jenen Teilstücken noch eine Zeit lang erhalten. Während aber die kernhaltigen Stücke dauernd am Leben bleiben und eventuell die abgeschnittenen Teile regenerieren, gehen die kernlosen nach einigen Tagen zu Grunde. Isoliert man den Kern ganz ohne Protoplasma, so geht er auch

sehr bald zu Grunde. Beide Teile sind also aufeinander angewiesen, keiner kann für sich allein auf die Dauer bestehen. Aus Beobachtungen an Radiolarien hat VERWORN geschlossen, dass nach Entfernung des Kerns die Assimilierung aufgenommener Nahrung nicht mehr vollständig oder gar nicht erfolgen kann; vielleicht liefert der Kern die chemischen Stoffe, welche zur Verdauung der Nahrungsbestandteile notwendig sind. VERWORN hat auch beobachtet, dass die kernhaltigen Teile der Radiolarien an den verletzten Stellen die Schale wieder erzeugen, die kernlosen Stücke dagegen nicht. Auch bei Drüsenzellen hat man Thatsachen beobachtet, welche auf eine hervorragende Rolle des Zellkerns bei der Absonderung schließen lassen.

Ob die verschiedenen Kernformen, insbesondere ob das Vorhandensein nur eines oder mehrerer, zuweilen sehr vieler im Protoplasma verstreuter Kerne eine physiologische Bedeutung hat, lässt sich bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse nicht sagen. Wenn die chemische Zusammensetzung des Kerns von der des Protoplasmas abweicht und wenn dementsprechend zwischen ihm und dem Protoplasma durch Diffusion Stoffaustausch stattfindet, dann muss dieser durch die Vergrößerung der Kernoberfläche offenbar begünstigt und erleichtert werden.[1])

Bei Infusorien ist neben dem Kern noch ein kleinerer Körper zu erkennen, der Nebenkern, Para- oder auch Mikronukleus genannt wird (vgl. Fig. 57, S. 329). Von diesen sowie anderen der Zelle zugeschriebenen Strukturteilen sowie von den merkwürdigen Erscheinungen, welche unter gewissen Umständen in diesen Strukturbestandteilen auftreten, wird an anderer Stelle die Rede sein. Vorerst genügt für unsere jetzigen Zwecke die Feststellung, dass Protoplasma und Kern die wesentlichen Bestandteile der Zelle sind, welche zusammen die ganze Zelle ausmachen und vereinigt alle uns in großen Zügen schon bekannten Lebenserscheinungen aufweisen können.

4. Welche erstaunliche Differenzierung der äußeren Form mit gleichzeitiger physiologischer Arbeitsteilung unter Umständen eine solche einfache Zelle erreichen kann, dafür möge zunächst als lehrreiches Beispiel die im Mittelmeer vorkommende Alge *Caulerpa prolifera* (Fig. 52, S. 326) Erwähnung finden. Eine an der Spitze in horizontaler Richtung fortwachsende Achse treibt nach unten wurzelartige Fortsätze (Rhizoide), nach oben blattähnliche Fort- 4. Zelldifferenzierung.

[1]) In den Kernen sind die phosphorhaltigen Nukleinstoffe reichlich vertreten (vergl. Kap. 10 § 18). Die Reaktion des Kerns scheint häufig einesaure zu sein, während das Protoplasma meistens neutral oder schwach alkalisch zu reagieren pflegt. Auf chemische Unterschiede können auch die Verschiedenheiten in dem Verhalten gegen Reagentien, namentlich Farbstoffe, zurückgeführt werden.

sätze, die sich verästeln. Obgleich diese Pflanze eine beträchtliche Größe erreichen kann, denn ihre „Blätter" sind zuweilen mehrere Centimeter lang, so hat sie doch nur die Bedeutung einer einzigen Zelle. Es ist aber nicht bloß eine Variation in der Gestalt der Zelle eingetreten, sondern auch eine echte Differenzierung der einzelnen Zellteile, die mit physiologischer Arbeitsteilung verbunden ist. Denn die „Rhizoide" dienen, wie echte Wurzeln bei den vielzelligen Pflanzen, zur Befestigung und Nahrungsaufnahme, während die blattartigen Teile derselben Zelle, ebenso wie die echten Blätter aller Pflanzen die Atmung und Assimilation besorgen.

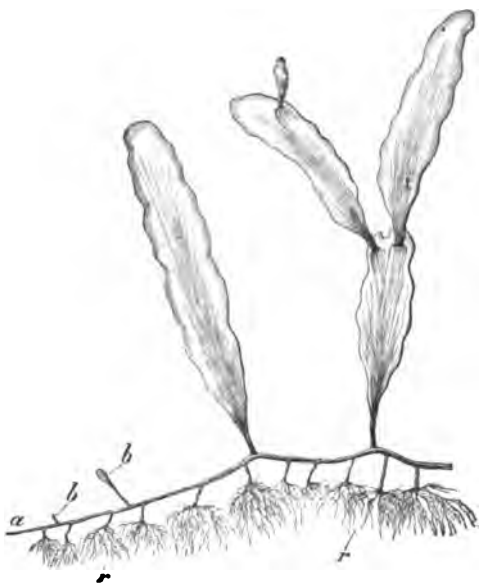


Fig. 52.
Caulerpa prolifera, eine Schlauchalge des Mittelmeers, aus einer einzigen Zelle bestehend. *a* fortwachsende Spitze; *b* junge Blattanlagen; *r* Rhizoide.

Ähnliche Differenzierungen finden sich an vielen einzelligen und in geringerem Grade an einzelnen Zellen der vielzelligen Lebewesen. Wo diese Differenzierungen deutlich ausgesprochen sind, können wir daher noch bestimmter von „Organen der Zelle" sprechen in demselben Sinne, wie von den Organen der höheren Lebewesen. Die mannigfachen Eigenschaften, welche bei den Amöben in einer einzigen Zelle vereinigt sind und deren Zusammenwirken das Leben der ganzen Amöbe ausmachen, sind bei diesen differenzierten Zellen auf Teile derselben, bei den komplizierten Lebewesen auf verschiedene Zellen, Gewebe und Organe verteilt. Es ergiebt sich demnach, dass es ganz allmähliche Übergänge in der Differenzierung der Zellen giebt, beginnend mit dem Auftreten einzelner, mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter Zellteile (Zellorgane) und auslaufend in der Umbildung ganzer Zellen zu spezifischen, mit verschiedenen Fähigkeiten begabter Gebilde, wie es die Gewebe und Organe der höheren Lebewesen sind.

5. Zellmembran.

5. Dass eine umhüllende Membran kein notwendiger Bestandteil der Zelle ist, haben wir schon gesehen. Pflanzliche Zellen be-

sitzen in der Regel, tierische verhältnismäßig selten Membranen. Da diese in jedem Falle den Austausch der Stoffe zwischen dem Zellleib und seiner Umgebung verringern, um so mehr, je dicker und undurchlässiger sie sind, so kann man verstehen, dass hauptsächlich solche Zellen von Membranen eingeschlossen werden, welche vorübergehend oder dauernd in einen Zustand verminderter Lebensthätigkeit eingetreten sind, wie es bei der Encystierung der Fall ist, die wir unter den Begriff des Scheintodes eingereiht haben.

In vielen Fällen wird die Behinderung des Stoffaustausches dadurch auf ein geringeres Maß zurückgeführt, dass die umhüllende Zellhaut von Öffnungen durchbrochen ist, durch welche das Protoplasma in unmittelbare Berührung mit der Umgebung oder mit dem Protoplasma der Nachbarzellen kommt.

Die Zellmembranen sind nicht selten durch sekundäre Ausscheidungen erheblich verdickt und erlangen dadurch eine erhebliche Festigkeit. Sie gewähren dann dem von ihnen umhüllten Protoplasma Schutz gegen Wasserverdunstung und gegen mechanische Schädigungen. Sie erlangen auch, namentlich bei Pflanzen, einen hohen Grad von Steifigkeit, so dass sie dem ganzen Körper eine gewisse Starrheit geben, welche Gebilde, die aus nackten Zellen bestehen, niemals aufweisen.

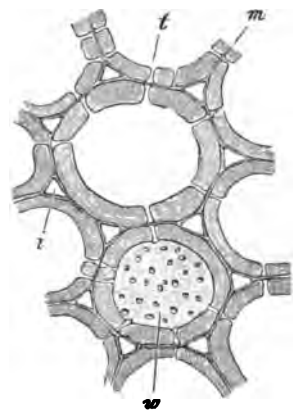


Fig. 58.
Pflanzenzellen mit stark verdickten, von Öffnungen durchbrochenen Wänden (Tüpfel). *i* Intercellularraum; *t* Tüpfel; *w* von Tüpfeln durchsetzte untere Wand einer Zelle.

Solche Zellen mit dicken Wandungen hatten v. MOHL und SCHLEIDEN an Pflanzen, später SCHWANN an Tieren zuerst allein im Auge, als sie die Lehre von dem Aufbau der Organismen aus einzelnen Zellen aufstellten. Da man anfangs der Meinung war, dass die umschließende Hülle wesentlich zum Charakter der Zelle gehöre, so betrachtete man die Zelle als einen von Flüssigkeit erfüllten Hohlraum. Hieraus erklärt sich auch die Wahl des Namens, welcher auf die nackte, nur aus Kern und Protoplasma bestehende Zelle nicht recht passt.

Den Aufbau pflanzlicher Gebilde aus einzelnen, den Honigwaben ähnlichen Formelementen beschrieb zuerst (1667) ROBERT HOOKE, ein englischer Physiker. MEYEN, SCHLEIDEN, HUGO v. MOHL und andere Botaniker zeigten später, dass die Zelle als Urform, aus der sich alle Gewebe der Pflanzen ableiten lassen, anzusehen sei, und SCHWANN führte (1839) den Nachweis auch für die tierischen Gewebe. Den

pflanzlichen Zellkern beschrieb zuerst der Botaniker ROBERT BROWN (1773—1858).

Bei jugendlichen Pflanzenzellen (Fig. 54) sind die Zellmembranen in der Regel dünn; die Verdickung durch ausgeschiedene Hüllsubstanz (Cellulose) tritt erst nachträglich ein. Der ganze, von der Membran eingeschlossene Hohlraum ist gleichmäßig von feinkörnigem Protoplasma ausgefüllt. Der große Kern nimmt nahezu die Mitte der Zelle ein; er ist von einer zarten, aber festen Kernhaut eingeschlossen und zeigt innerhalb derselben die stark färbbare Chromatinsubstanz und ein ziemlich großes Kernkörperchen (*n*). Neben ihm liegen im Protoplasma oder, wie es auch genannt wird, Cytoplasma (*cy*) zwei rundliche kleine Gebilde, die Centrosphären, welche dem früher erwähnten Centrosom entsprechen. Auf diese Gebilde und die außerdem im Cytoplasma vorkommenden, den Pflanzenzellen eigentümlichen sogenannten Chromatophoren (*ch*) werden wir später zu sprechen kommen.

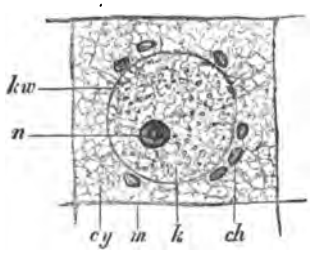


Fig. 54.
Junge Pflanzenzelle.
k Kern; *kw* Kernwandung; *n* Kernkörperchen; *cy* Cytoplasma; *ch* Chromatophoren; *m* Zellwand. Vergr. etwa 1000.

Die hier besprochene Zelle stammt aus dem sogenannten Vegatationskegel einer phanerogamen Pflanze, in welchem ein lebhaftes Wachstum unter stetiger Vermehrung der Zellen durch Teilung stattfindet. Die Zellen sind daher dichtgedrängt und platten sich gegenseitig ab, so dass sie kubische oder tafelförmige Gestalt annehmen; auf dem optischen Durchschnitt sehen sie quadratisch aus.

Fig. 55 stellt eine ältere Zelle dar. Durch Wachstum ist sie größer geworden; aber das Protoplasma hat nicht in demselben Maße zugenommen wie der Zellsaft. Es ist teils als Wandbelag, teils in Gestalt von Strängen oder Bändern von verschiedener Dicke, welche Vakuolen einschließen, vorhanden. Wo die Protoplasmastränge zusammenhängen, liegt der hier im Verhältnis zur Zelle viel kleinere Zellkern.

Fig. 55.
Zelle aus dem Staubfaden von Tradescantia virginica. Das Protoplasma überzieht als dünner Wandbelag die Zellmembran und bildet ein Netz von dickeren und dünneren Strängen, in deren Knotenpunkt der Kern liegt. Zwischen den Protoplasmasträngen große, mit Zellsaft gefüllte Vakuolen.

Im Tierreich sind membranlose oder nackte Zellen viel häu-

figer als im Pflanzenreich. Manche von ihnen gleichen so vollkommen den Amöben, dass eine Verwechslung sehr leicht möglich ist, wenn man die Herkunft der Gebilde nicht kennt. Das gilt z. B. für die Leukocyten, welche im Blute der meisten Tiere vorkommen und in dieser Flüssigkeit ganz so leben wie Amöben im Teich- oder Meerwasser (vgl. Fig. 56 und Fig. 44 auf S. 300). Sie ändern ihre Gestalt und bewegen sich durch Pseudopodien, sie nehmen wie jene feste Körper auf, welche in den Bereich ihrer Pseudopodien kommen, verdauen sie oder stoßen sie wieder aus u. s. w. Dieselben Zellen findet man auch als sogenannte Wanderzellen in den Spalträumen der Gewebe von Tieren.

Fig. 56.

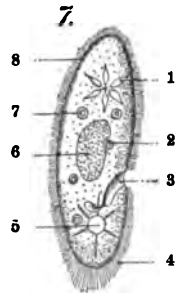


Fig. 57.

Fig. 56. Leukocyten vom Menschen, in Ruhezustand und in amöboider Bewegung.

Fig. 57. Paramaecium caudatum. 1 und 5 kontraktile Vakuolen; 2 Nebenkern; 6 Hauptkern; 3 Mundöffnung und Schlund; 7 Nahrungsvakuole; 8 die in der Cuticula gelegenen Borsten; 4 dieselben herausgestreckt.

6. Kontraktile Vakuole.

6. Schon bei vielen Amöben bemerkt man im Protoplasma eine Stelle, welche sich durch ihr Aussehen und ihr Verhalten von dem übrigen wesentlich unterscheidet. Sie erscheint als ein heller, runder Fleck, welcher in regelmäßigen Zeitintervallen verschwindet und bald darauf wiedererscheint. Es ist die kontraktile Vakuole, ein mit klarer, heller Flüssigkeit erfüllter Hohlraum, aus welchem die Flüssigkeit durch eine plötzlich eintretende Verkleinerung ausgepresst wird, um sich dann langsamer wieder anzusammeln. Sehr schön sieht man die kontraktilen Vakuolen bei den gleichfalls nur aus einer Zelle bestehenden Infusorien, z. B. dem in Fig. 57 abgebildeten *Paramaecium*, von dessen Zellorganen später noch mehr zu sagen sein wird. *Paramaecium* hat zwei kontraktile Vakuolen; rings um dieselben sieht man im Protoplasma eine Anzahl radial angeordneter Kanäle, welche in die Vakuolen einmünden. Die Kanäle leiten das in sie eintretende Wasser in die Vakuole, aus welcher es durch die rhythmischen Kontraktionen wieder ausgepresst wird. Das die Vakuolen zunächst begrenzende Protoplasma unterscheidet sich also von dem übrigen darin, dass seine Kontraktionen rhythmisch erfolgen und immer in der Art, dass die Vakuole von

allen Seiten her gleichmäßig verengert wird. Die kontraktile Vakuole stellt gleichsam den einfachsten Typus von Organen dar, welche bei komplizierten Lebewesen als pulsierende Herzen auftreten.

Bei der Amöbe kann sowohl die Aufnahme von Nahrung wie die Ausscheidung unbrauchbarer Bestandteile an jeder beliebigen Stelle des Leibes erfolgen. Das gilt sowohl für feste Stoffe wie für gelöste, welche auf dem Wege der Diffusion von der ganzen Oberfläche aus in das Innere gelangen, für die im Innern gebildeten löslichen Stoffe, welche nach außen diffundieren, sowie für die absorbierten Gase. Sauerstoff kann an der Oberfläche ein-, Kohlendioxyd ebenda austreten. Durch den mit den amöboiden Bewegungen verbundenen fortwährenden Wechsel der Oberfläche wird die Diffusion noch begünstigt, so dass bei der außerordentlichen Kleinheit des ganzen Lebewesens der Austausch trotz der Langsamkeit aller Diffusionsströmungen zur Unterhaltung des gesamten Stoffwechsels ausreichend ist.

Wird aber ein Lebewesen etwas größer und sind die in ihm vor sich gehenden Lebensprozesse lebhafter (was mit einem vermehrten Stoffwechsel verbunden sein muss), so können jene einfachsten Bedingungen nicht mehr genügen. Sie versagen vollends, wenigstens was die Aufnahme und Ausgabe fester Körper anlangt, wenn die Oberfläche sich zu einer sogenannten Cuticula verdichtet, wie es bei *Paramaecium* der Fall ist. Eine solche etwas festere Oberfläche, welche Beweglichkeit nicht ausschließt, aber gegen mechanische Verletzungen Schutz gewährt und dem Leib einen Halt giebt, ist für diese Lebewesen sicher von großem Nutzen.

Die unmittelbar an die Cuticula grenzende Rindenschicht des Protoplasmas ist viel fester als der übrige Teil, welcher wie bei Amöben feinkörnig und halbflüssig ist. Bei Paramaecium sieht man in der Rindenschicht eine Art von Querstreifung. Tötet man ein Paramaecium, so treten aus dem Körper feine Borsten hervor, die viel länger sind als die in der Figur sichtbaren Wimpern, von welchen später die Rede sein wird. Was als Querstreifung der Rindenschicht erscheint, sind spindelförmige Hohlräume, in denen jene Borsten zusammengerollt liegen. Wir haben es hier mit einer ähnlichen Einrichtung zu thun wie bei den Nesselfäden der Cnidarien, welche im Innern einer Kapsel aufgerollt liegen, aus der sie plötzlich hervorgeschnellt werden, um als Angriffs- oder Verteidigungswaffen zu dienen. Bei den Cnidarien sind die Enden der Fäden mit Widerhaken versehen, welche sich in die Haut des Feindes einbohren, worauf sich aus dem Faden eine ätzende Flüssigkeit in die so erzeugten Wunden ergießt.

Betrachten wir jetzt *Paramaecium* etwas genauer. Das Tier ist nicht ganz symmetrisch gebaut. Seine eine Fläche (wir wollen

sie Rückenfläche nennen) ist konvex und ganz mit Wimpern bedeckt. An der entgegengesetzten (der Bauchfläche) ist eine flache Grube, die sich in einen, mit Wimpern ausgekleideten Schlund fortsetzt. Die Wimperbewegung erzeugt einen Strudel, welcher Wasser und in demselben aufgeschwemmte feste Partikelchen in den Schlund hineinreißt. Am Grunde desselben bleiben sie liegen, werden aber nach einiger Zeit durch eine Art von Kontraktion in das halbflüssige Protoplasma hineingepresst. So entsteht ein kleiner, mit Wasser und festen Partikelchen gefüllter Hohlraum, welcher sich gleich wieder durch Zusammenfließen des halbflüssigen Protoplasmas gegen den Schlund abschließt. Da der Prozess sich wiederholt, so entstehen eine Anzahl getrennter, mit Flüssigkeit und kleinen festen Partikelchen gefüllter sogenannter Nahrungsvakuolen (wohl zu unterscheiden von den kontraktilen Vakuolen), welche durch die Kontraktionen des Protoplasmas innerhalb desselben fortbewegt werden. Während dieser Wanderung geht Wasser und alles, was in ihm gelöst ist, insbesondere auch der absorbierte Sauerstoff, durch Diffusion in das Protoplasma über. Die Nahrungsvakuolen werden daher immer kleiner, je weiter sie fortschreiten. Zuletzt bleiben nur die festen, nicht verdaulichen und deshalb auch nicht assimilierbaren Partikelchen übrig. Diese werden an einer bestimmten Stelle, dem After[1]) ausgestoßen. Das überschüssige Wasser aber und die in ihm gelösten Stoffe, namentlich die im Körper entstandenen Stoffwechselprodukte, werden durch die kontraktilen Vakuolen entleert.

7. Noch deutlicher als bei den kontraktilen Vakuolen tritt die Differenzierung der dem Protoplasma zukommenden Kontraktilität durch Ausbildung derselben in bestimmter Richtung bei einer Art von Zellorganen auf, welche man schon bei manchen Amöben antrifft, der sogenannten Geißel. Fig. 58 stellt eine geißeltragende Amöbe vor, *Mastigamoeba aspera*. Neben den Pseudopodien, welche überall vom ganzen Protoplasma ausgestreckt und wieder eingezogen werden können, hat diese Amöbe an einer Stelle noch ein besonderes Bewegungsorgan, einen langen, dünnen Faden, durch dessen peitschenartige Schwingungen das ganze Individuum sich im Wasser fortbewegen kann,

7. Geißel und Wimpern.

Fig. 58
Mastigamoeba aspera mit ausgestreckten Pseudopodien. 1 Geißel; 2 Pseudopodien; v. Vakuole.

[1]) Man sieht bei *Paramaecium* keine wirkliche Afteröffnung, wie sie bei anderen einzelligen Lebewesen vorkommt. Aber eine Stelle der Leibesoberfläche muss weicher sein als alle anderen, so dass hier ein Auspressen der Körnchen durch die Protoplasmakontraktionen stattfinden kann.

etwa in der Art, wie durch die Bewegungen eines langen, am Ende eines Nachens angebrachten Ruders (sogenanntes „Wricken") der Nachen vorwärts bewegt wird.

Die Geißelbewegung kommt bei Jugendzuständen aller möglichen Lebewesen vor, auch solcher, die im ausgebildeten Zustand aller Eigenbewegungen ganz ermangeln. Bei vielen Pflanzen und Tieren lösen sich mit Geißeln versehene Fortpflanzungszellen vom mütterlichen Organismus los und führen als sogenannte „Schwärmsporen" vorübergehend ein freies Wanderleben, ehe sie sich wieder festsetzen und die Geißel verlieren Bei anderen Lebewesen, namentlich bei den Flagellaten oder Geißelinfusorien bleiben die Geißeln während des ganzen Lebens bestehen. *Mastigamoeba* hat nur eine Geißel. Zuweilen sind deren zwei nebeneinander vorhanden, oder auch vier, zwei am vorderen, zwei am hinteren Körperende. Bei der Bewegung geht gewöhnlich das geißeltragende Ende voran, doch kommt auch die entgegengesetzte Bewegungsrichtung vor. Letzteres ist die Regel bei den Samenfäden, auch Spermien, Spermatosomen oder Spermatozoen genannt, Zellen, durch deren Verschmelzung mit dem Ei die geschlechtliche Befruchtung bei Metazoen zu stande kommt. Die Geißel ist hier in einen langen breiten Fortsatz umgewandelt und hat die Form eines bei der Bewegung undulierenden Bandes, dessen einer Rand wellig ist, während in den andern, gerade verlaufenden Rand ein stärkerer Faden, die eigentliche Geißel, gleichsam eingewebt ist. Dieses Band, auch Schwanz genannt, enthält den größten Teil des Zellprotoplasmas, während das Vorderende, der sogenannte Kopf, fast nur aus Kernsubstanz besteht. Fig. 59 zeigt einen solchen Samenfaden vom Salamander.

Fig. 59. Samenfaden, links von der Schmalseite, rechts von der Fläche gesehen. *b* Kopf; *c* Mittelstück; *d* Schwanz; *e* Endfaden.

Sehr zarten und kürzeren Geißeln ähnlich sind die Wimpern, welche besonders bei den Wimperinfusorien (Ciliaten) schön ausgebildet sind. Sie kommen immer in größerer Anzahl entweder am ganzen Körper, wie bei dem oben beschriebenen *Paramaecium*, oder an einzelnen Stellen desselben vor, wie bei Vorticellen (Fig. 61). Sie setzen bei kleineren Lebewesen durch ihre flimmernde Bewegung (daher auch „Flimmerhaare" genannt) den ganzen Körper in Bewegung; in anderen Fällen, namentlich wenn die Zelle am entgegengesetzten Ende befestigt ist, bewirken sie Strömungen in dem umgebenden Wasser, welche meist der Nahrungszufuhr dienen. In komplizierten Lebewesen (auch bei Säugetieren) kommen Zellen vor, welche zahlreich nebeneinander auf einer Haut als sogenannte

Epithelien aufsitzen und an ihrer freien Fläche Wimpern tragen. Durch stetige Bewegung dieser Wimperhaare werden die an die Membran angrenzende Flüssigkeit und leichte, in derselben schwimmende Körper in Bewegung gesetzt. Solche Zellen finden sich z. B. in der Luftröhre der Säugetiere, wo sie dazu dienen, Schleim und von außen eingedrungene Fremdkörper fortzubewegen. Eine Zwischenstufe zwischen Wimpern und eigentlichen Pseudopodien scheinen die stäbchenförmigen Fortsätze der auf Schleimhäuten des Darmkanals festsitzenden epithelialen Zellen darzubieten, denen vermutlich die Fähigkeit zukommt aus dem Darmlumen Fetttröpfchen, vielleicht auch feste Partikelchen aufzunehmen und weiterzubefördern (vergl. Kap. 11 § 7).

Sehr große Wimpern, sogenannte Wimperplatten, kommen bei Rippenquallen und anderen im Wasser lebenden Vielzellern als Lokomotionsorgane vor. An ihnen lässt sich der Mechanismus der Wimperbewegung besser beobachten als bei den sehr zarten und außerordentlich schnell bewegten Wimper- oder Flimmerhaaren. (Näheres in Kap. 18 u. 19).

Während die amöboide Bewegung durch die allgemeine, dem ganzen Protoplasma gleichmäßig zukommende Kontraktilität zu stande kommt, ist bei den kontraktilen Vakuolen, den Geißeln und Wimpern die Kontraktilität an einzelnen Stellen zu einem höheren Grade entwickelt und wirkt zugleich in einer bestimmten Richtung. Wenn bei der Wimper oder Geißel bald die eine, bald die andere Seite sich verkürzt, muss das Organ sich abwechselnd nach den beiden Richtungen krümmen. Die Kontraktilität wirkt also hier allein oder doch vorzugsweise in der Längsrichtung des Ge-

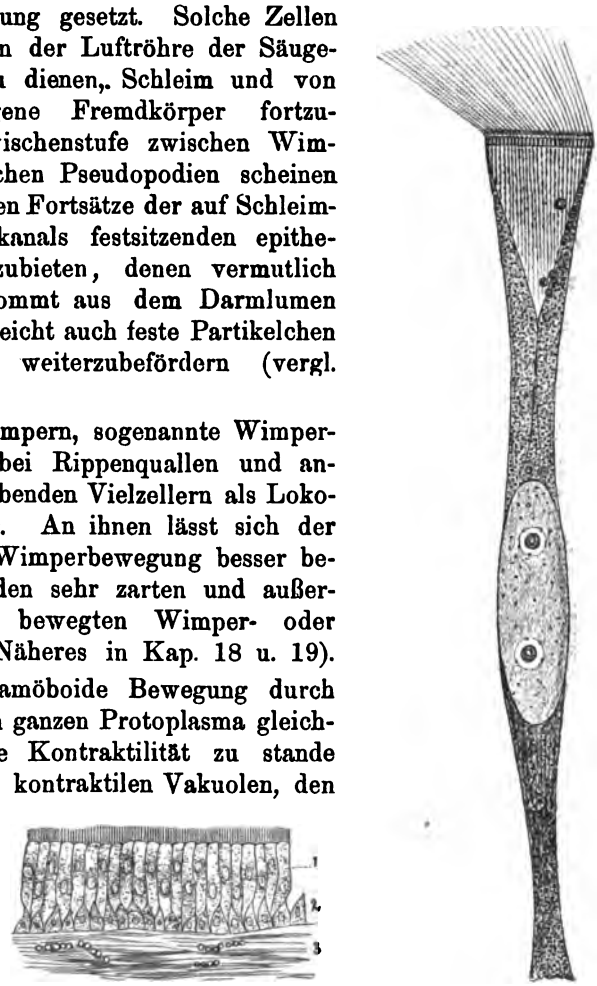


Fig. 60.

Wimperzellen. *A* aus der Paukenhöhle. 1 Wimpern oder Flimmerhaare tragende cylindrische Zellen; 2 kleine Zellen am Grunde auf der Schleimhaut, 3, aufsitzend. *B* große Wimperzelle von *Cyclas cornea*, einer kleinen im Süßwasser lebenden Muschel.

bildes. Noch stärker entwickelt ist diese einseitige Kontraktilität bei den sogenannten Muskeln, welche bei höheren Tieren die wesentlichsten Bewegungsorgane sind. In gleicher Weise wirkende Teile von Zellen kommen aber auch bei einzelligen Lebewesen vor. Sehr schön zeigen diese Differenzierung der Zellsubstanz die Vorticellen.

8. Muskeln.

8. Die Vorticellen sind einzeln lebende oder Kolonien bildende Infusorien. Das Einzeltier besteht aus einem glockenförmigen Leib, der sich in einen langen, dünnen, cylindrischen Stiel fortsetzt, dessen unteres, etwas verbreitertes Ende an einem im Wasser befindlichen Gegenstande, einem Stein, Holz oder Blatt, zuweilen auch an einem Käfer festgeheftet ist. Im letzteren Falle wird die Vorticelle bei den Bewegungen des Käfers mitgeschleppt. Bei den Kolonien bildenden Vorticellen, z. B. dem in Fig. 61 abgebildeten *Carchesium polypinum*, entspringen die sich verzweigenden Stiele aus einem gemeinschaftlichen, auf der Unterlage festgewachsenen, hohlen Stammstück. Die Vorticellen gehören, wie *Paramaecium* (Fig. 57), zu den Wimperinfusorien. Während *Paramaecium* an seiner ganzen Oberfläche mit Wimpern bedeckt ist, sehen wir bei den Vorticellen nur einen Wimperkranz, welcher den verdickten Rand des glockenförmigen Körpers umgiebt. Die Glocke ist durch eine Art von etwas schief stehendem Deckel (den Diskus) zum größten Teil geschlossen. Da, wo der Deckel aufhört, beginnt eine Röhre, die bis ungefähr zur Mitte des Körpers reicht, der Schlund. Neben demselben sieht man eine kontraktile Vakuole und einen großen hufeisenförmigen Kern. Die Wimpern umgeben den ganzen verdickten Rand und stehen teilweise im Anfangsteil des Schlundes. Bei *Carchesium* schließt sich an sie noch eine undulierende Membran an, die gleichsam eine große Zahl miteinander verschmolzener Wimpern darstellt. Die Wimperhaare sind in fortwährender Bewegung, welche, von Wimper zu Wimper fortschreitend, die Täuschung hervorruft, als drehe sich der Rand wie ein Mühlstein um seine Axe. Durch diese Wimperbewegung wird in dem umgebenden Wasser ein Strudel erzeugt, welcher kleine, im

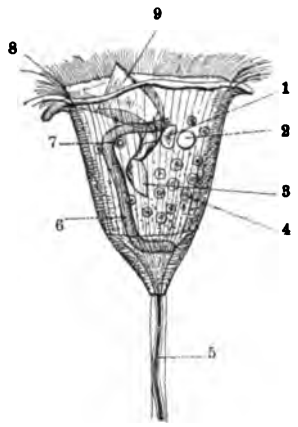


Fig. 61.
Carchesium polypinum, eine Kolonien bildende Vorticelline. 1 Vakuole; 2 kontraktile Vakuole; 3 Schlund; 4 Nahrungsballen mit Vakuolen; 5 Stielmuskel; 6 hufeisenförmiger Kern; 7 Nebenkern; 8 Peristom; 9 undulierende Membran.

Wasser schwimmende Partikelchen in den Schlund und von da in den Leib des Tierchens hineintreibt. Man kann dies besonders gut sehen, wenn man dem Wasser absichtlich kleine Farbstoffpartikelchen beimischt.

Der Stiel besteht aus einer zarten, durchsichtigen Hülle und einem festeren, etwas geschlängelt verlaufenden Achsenfaden, dem Stielmuskel. Letzterer erscheint bei stärkerer Vergrößerung der Länge nach gestreift, so dass man ihn als ein Bündel feinerer Fasern auffassen muss. Wo der Stiel in den Körper übergeht, trennen sich die Fasern von einander und sind als feine Längsstreifen in der Rindenschicht des Körpers weiter sichtbar. Die Hülle des Stiels geht in die Cuticula des glockenförmigen Leibes über, welche noch außer der Rindenschicht den Körper des Tierchens nach aussen bekleidet.

Die Vorticellen sind außerordentlich reizbar. Bei der geringsten Erschütterung ballt sich der glockenförmige Körper durch Zusammenziehung der Muskelfäden zu einer Kugel zusammen, wobei der Discus nach innen gezogen und der die Wimpern tragende Rand ringförmig zusammengeschnürt wird. Zugleich aber verkürzt sich der Stielmuskel stark, wobei seine Scheide die Form einer eng gewundenen Spirale annimmt, und zieht die Glocke an die Ansatzstelle heran.

Hier sehen wir also einen Teil des Zellleibes noch deutlicher zu einem langen, dünnen, in der Längsrichtung kontraktilen Gebilde umgewandelt. Diese Eigenschaft ist charakteristisch für die eigentlichen Muskeln aller höheren Tiere. Wir dürfen daher das kontraktile Gebilde des Vorticellenstiels, obgleich es nur Teil einer Zelle ist, mit Fug und Recht auch einen Muskel nennen. Die weitere Untersuchung lehrt, dass alle Muskeln durch Umwandlung des Zellinhalts entstehen, indem das Protoplasma in der einen Richtung besonders stark wächst und die sonst nach allen Richtungen gleichmäßige Kontraktilität desselben in der Längsrichtung eine einseitige Ausbildung erfährt, während sie in der auf diese senkrechten Richtung ganz verloren geht.

Auch bei manchen Vielzellern kommen Zellen vor, deren Protoplasma zum Teil zu Muskelsubstanz differenziert ist, z. B. bei Medusen als sogenannte Epithelmuskelzellen (Fig. 62). Die Leibeswand einer Hydra ist aus zwei Lagen von Zellen aufgebaut. Die

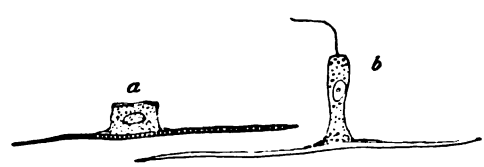


Fig. 62.
Epithelmuskelzellen. *a* einer Meduse; *b* einer Aktinie, letztere mit Geißel.

innere besteht aus großen, zum Teil geißeltragenden Zellen, sie bildet das Entoderm. Die äußere Lage, das Ektoderm, von jenem durch eine zarte strukturlose Stützlamelle getrennt, enthält zweierlei Zellen, große, nach innen konisch sich verjüngende und kleinere, die Hohlräume zwischen den Kegeln ausfüllende. Erstere biegen an ihren inneren Enden rechtwinklig in kontraktile Platten, Muskelfortsätze um, welche, parallel zur Längsaxe des Tiers verlaufen und dicht auf der Stützlamelle aufliegen. Ihnen verdankt das Tier seine Kontraktilität.

Bei den eigentlichen Muskelzellen ist der größte Teil des Zellleibes in kontraktile Substanz umgewandelt, so dass der Kern mit einem kleinen Rest des ursprünglichen Protoplasmas zu einem sehr geringen Umfang reduziert ist. Man unterscheidet zwei Arten von Muskelsubstanz, glatte und quergestreifte. Die glatten Muskelfasern treten entweder als spindelförmige Zellen auf mit langen, spitz zulaufenden Enden und einem meistens ebenfalls in

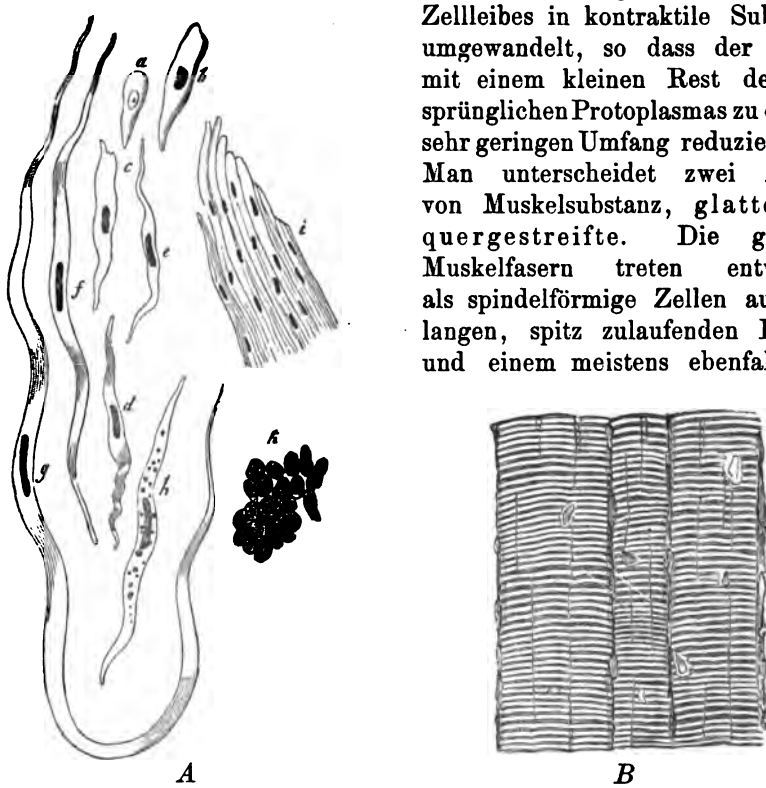


Fig. 63.

A. Glatte *B.* quergestreifte Muskelfasern. *a* und *b* Bildungsformen; *c-g* verschiedene Formen fertiger Faserzellen; *h* Fettkörnchen enthaltende; *i* Faserbündel; *k* Querschnitt durch ein Bündel, in einigen ist der Kern sichtbar. — Über die quergestreiften Muskeln vgl. Kap. 18.

die Länge gezogenen, stäbchenförmigen Kern, oder als verästelte Zellen, deren äußere Schichten kontraktil geworden sind, während der innere oder Achsenteil die unveränderte Protoplasmamasse mit

dem Kern enthält. Bei den quergestreiften Muskeln hat die kontraktile Substanz eine Trennung in zwei, auch optisch verschiedene Substanzen erfahren. Die beiden Substanzen, von denen die eine dunkler aussieht als die andere, sind in abwechselnden Schichten angeordnet, wodurch die Faser eine zu ihrer Längsrichtung senkrechte Querstreifung aufweist.[1])

Glatte, wie quergestreifte Muskeln kommen meistens in größeren Massen zusammen vor, erstere oft zu Häuten, Flechtwerken oder Ringen, letztere zu Bündeln von Fasern vereinigt. Aus solchen Bündeln quergestreifter Fasern bestehen die Skelettmuskeln der Wirbeltiere, welche wir am Kaninchen kennen gelernt haben.

9. Zellgemeinschaften.

9. Das Beispiel der Muskelfasern ist so recht geeignet zu erläutern, wie aus Zellorganen, also einzelnen, besonders differenzierten Teilen einer Zelle, eine in ihrem ganzen Bestand differenzierte Zelle entstehen kann, welche nicht mehr geeignet ist, ein selbständiges Leben zu führen, sondern nur als Teil eines Organismus höherer Ordnung bestehen kann. Wenn durch wiederholte Teilung aus einer Zelle (der Mutterzelle) viele Zellen (Tochterzellen) hervorgehen, welche sich nicht voneinander trennen, um einzeln weiter zu leben, sondern bei einander bleiben, so entstehen, wie wir es in Kap. 12 gesehen haben, entweder Kolonien oder komplizierte Organismen höherer Ordnung. Wir wollen die so entstehenden Gebilde mit dem Gesamtnamen Zellgemeinschaften belegen. Zellgemeinschaften, welche selbst wieder Teile eines komplizierten Organismus sind und welche durch einseitig gerichtete Entwickelung der Zellen einen bestimmten morphologischen und physiologischen Charakter erhalten haben, nennt man Gewebe; aus den Geweben setzen sich die Organe der komplizierten Lebewesen zusammen.

Bei der Entwickelung zu Geweben können die einzelnen Zellen nahe bei einander bleiben, so dass sie sich berühren; sie sind dann meistens durch eine von den Zellen abgesonderte sogenannte Kittsubstanz miteinander verklebt und nehmen oft, weil sie sich durch gegenseitigen Druck abplatten, polyedrische Formen an, oder greifen mit zackigen Rändern ineinander ein, was die Festigkeit der Verbindung erheblich steigert. Die Zellen können aber auch durch

[1]) Bei der Bildung der Muskelfasern strecken sich die Zellen; ihre Kerne teilen sich, ohne dass es zur Trennung des Protoplasmas in deutlich von einander abgegrenzte Zellen kommt. Die Muskeln des Herzens bestehen dagegen aus gestreckten, häufig verzweigten, einkernigen Zellen, deren Endflächen durch Kittsubstanz mit einander verklebt sind. Gleichzeitig mit der Kernteilung und Streckung geht die Umwandlung des Protoplasmas in die beiden Substanzen vor sich; nur in der Umgebung der Kerne bleibt ein Rest unveränderten Protoplasmas zurück.

reichliche Ausscheidungen aus ihrem Protoplasma weiter auseinander rücken. Man nennt dann die abgesonderte Masse, in welche die Zellen sozusagen eingelagert sind, Intercellularsubstanz. Dieselbe kann ganz homogen bleiben oder nachträgliche Veränderungen eingehen, faserig werden u. s. w.[1]) Als Beispiel für den ersten Fall können die Epithelien, für den zweiten der Knorpel dienen (vgl. Fig. 68, 69 und 70).

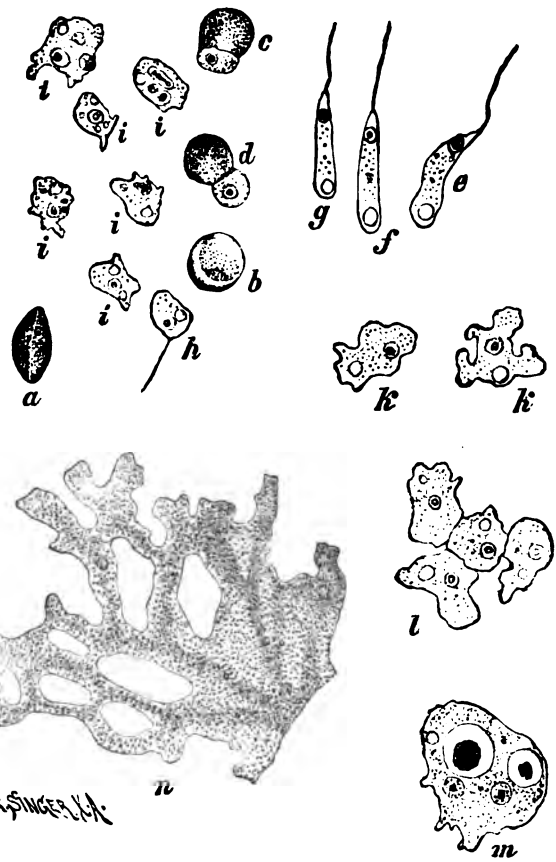


Fig. 64.

Chondrioderma difforme, ein auf faulen Blättern, Mist u. d. gl. lebender Schleimpilz (Myxomycete). *a* **trockene Spore;** *b* **dieselbe durch Wasseraufnahme gequollen;** *c*, *d* **Austritt des Inhalts aus der Spore;** *e-g* **Schwärmsporen;** *h-k* **Myxamöben;** *l* **noch nicht verschmolzene Amöben;** *m* **Beginn der Verschmelzung;** *n* **Stück eines fertigen, durch Verschmelzung entstandenen Plasmodiums.**

[1]) Wenn die Zellen, ganz voneinander getrennt, frei in einer Flüssigkeit schweben, wie es beim Blut und der Lymphe der Tiere der Fall ist, so sprechen manche Morphologen von einem Gewebe mit flüssiger Intercellularsubstanz. Es scheint mir aber richtiger, auf solche Gebilde die Bezeichnung Gewebe überhaupt nicht anzuwenden.

In anderen Fällen verschmelzen die Zellen miteinander derart, dass eine größere, zusammenhängende Protoplasmamasse mit zahlreichen Kernen entsteht. Eine derartige Zellgemeinschaft nennt man ein Syncytium. Als solches kann man die quergestreiften Muskelfasern ansehen (vgl. die Anm. auf S. 336), ein anderes Beispiel bieten die Myxomyceten. Fig. 64 stellt die Entwicklung eines solchen Syncytiums dar. Bei *a* sieht man eine trockene, zusammengefaltete sogenannte Spore. Gelangt diese in Wasser, so quillt sie auf und erhält das Aussehen, wie es *b* zeigt, es ist jetzt eine einfache, von einer derben Haut umschlossene, also encystierte Zelle. Durch weitere Quellung wird die Haut gesprengt und die nackte Zelle tritt aus ihr aus. Sie nimmt eine längliche Form an und erhält am einen Ende eine Geißel, durch deren peitschenartige Bewegungen sie im Wasser umherschwimmt *(e, f, g)*. Man nennt sie jetzt eine Schwärmspore. Außerdem enthält die Zelle noch einen Kern und eine kontraktile Vakuole. Nach kurzer Zeit kommt die Schwärmspore zur Ruhe, die Geißel verschwindet und die Zelle erhält das Aussehen einer kleinen Amöbe (*k*). Diese amöbenförmigen Zellen wachsen und teilen sich; die Zellen verschmelzen miteinander und bilden das sogenannte Plasmodium (*n*). An diesem sind die körnchenhaltigen Schichten in fortwährender strömender Bewegung; gleichzeitig sendet das Protoplasma Fortsätze aus, zieht andere ein u. s. w., wie es von den Amöben beschrieben wurde. Wenn sich zwei Fortsätze begegnen, verschmelzen sie; trifft ein Fortsatz auf einen festen Körper, so wird derselbe umflossen und mitgeschleppt. Kurz das Plasmodium verhält sich wie eine riesige Amöbe.

Chondrioderma difforme kommt auf faulenden Pflanzenteilen häufig vor und kann eine Größe von einigen Centimetern erreichen. Noch größer werden die Plasmodien der sogenannten Lohblüte (*Fuligo varians*, früher *Aethalium septicum* genannt), welche auf feuchter Gerberlohe bis zu 30 cm und mehr im Durchmesser haltende Überzüge von schwefelgelber Farbe bildet.

Liegen die Teilungsflächen bei den aufeinander folgenden Zellteilungen alle zu einander parallel, so entsteht ein linear angeordnetes Zellaggregat oder

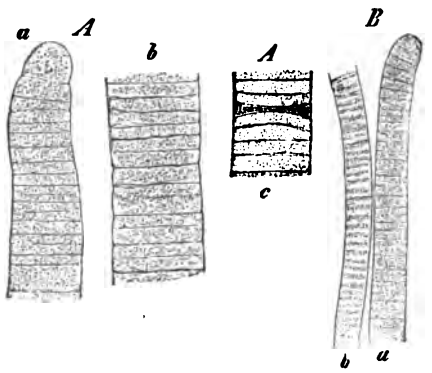


Fig. 65.

Oscillaria princeps (*A*) und O. Froelichii (*B*), zwei Fäden bildende Spaltalgen. *a* Endstück; *b* und *c* Stücke aus der Mitte eines Fadens.

ein Zellenfaden. Beispiele hierfür liefern die Spalt- oder Fadenalgen (Fig. 65, S. 339). In ähnlicher Weise bilden sich, als Teile größerer Zellkomplexe, die haar- oder fadenförmigen Ausstülpungen, von denen die Haare der Staubblätter von *Tradescantia* als Beispiele dienen können (vgl. Fig. 55). Stülpen sich einzelne Zellen seitlich aus und geht dann an dieser Ausstülpung die Teilung in derselben Weise vor sich, so entstehen verzweigte Fäden, wie man an den Mycelfäden der höheren Fadenpilze sieht. Sind die Teilungsflächen in zwei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen angeordnet, so kommen flächenartig ausgebreitete Zellaggregate zu stande. Erfolgt endlich die Teilung abwechselnd nach drei aufeinander senkrechten Ebenen, so führt das zur Entstehung körperlich angeordneter Zellaggregate.

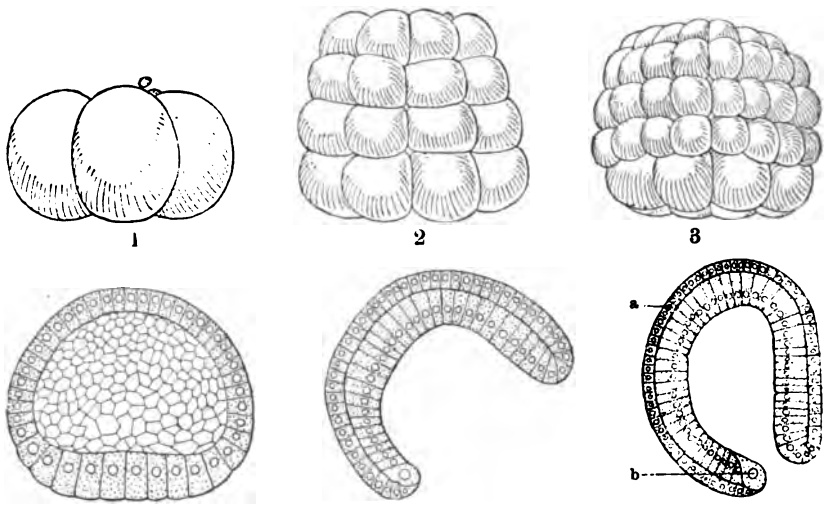


Fig. 66.

Furchung des Eis bei Amphioxus lanceolatus. 1 Vierzellen-, 2 Zweiunddreißig-Zellenstadium; 3 Morula; 4 Blastula, in der Mitte durchschnitten; 5, 6 Gastrula, *a* Ektoderm. Aus der Zelle *b* entsteht später ein drittes, mittleres Keimblatt, das Mesoderm.

10. Erste Entwickelungsstadien von Amphioxus.

10. Als Beispiel für die Entstehung von eigentlichen Geweben wollen wir die ersten Stadien der Entwickelung von *Amphioxus lanceolatus,* einem der niedersten Wirbeltiere betrachten. Aus einer Zelle, dem Ei, entstehen durch Teilung 2, 4, 8 u. s. w. Teilstücke oder Tochterzellen. Da bei jeder Teilung die Oberfläche durch eine Furche eingeschnürt wird, so nennt man diese Art der Teilung Furchung. Ist dieselbe so weit vorgeschritten, dass ein Haufen sehr vieler kleiner Zellen entstanden ist, so bietet die Furchungskugel das Aussehen einer Maulbeere und wird Morula genannt; sie ist eine solide, aus lauter kleinen Zellen bestehende Kugel.

Jetzt weichen die Zellen auseinander; dadurch entsteht eine von Zellen umschlossene, mit Flüssigkeit gefüllte Furchungshöhle. Zugleich sieht man die erste Andeutung einer Differenzierung an den Zellen auftreten; ein Teil der Zellen teilt sich langsamer; die Zellen bleiben daher größer. Dieses Stadium führt den Namen Keimbläschen oder Blastula. Im weiteren Verlauf flacht sich jener Teil, an dem die größeren Zellen liegen, ab und stülpt sich nach innen ein. Wir haben also jetzt einen aus zwei Zellenlagen bestehenden Sack, die Gastrula; ihre beiden Zellenschichten, zwischen denen ein spaltförmiger Raum, die spätere Leibeshöhle erhalten bleibt, nennen wir Ektoderm und Entoderm. Aus ersterem entstehen später die äußere Hautbekleidung (Epidermis) mit Drüsen u. s. w., das Nervensystem und die Sinnesorgane; der andere teilt sich später nochmals in das Entoderm und Mesoderm; aus ihm entstehen der Darm und die übrigen Organe der Leibeshöhle, die Muskeln u. s. w. Mithin sind alle Teile des ganzen fertigen Tieres nichts als Umformungen aus den Zellen der Furchungskugel.

Die Eier, aus denen sich die höheren Lebewesen entwickeln, haben häufig ganz und gar das Aussehen und die Eigenschaften der Amöben. In anderen Fällen sind sie von Membranen umschlossen; sie können dann keine amöboiden Bewegungen machen.

11. Gewebe.

11. Auf ähnliche Weise wie aus dem Ei des Amphioxus entstehen auch bei anderen Lebewesen die Gewebe durch Differenzierung der Zellen, welche von einer Mutterzelle abstammen. Wir wollen diese Gewebe, soweit sie nicht schon im Vorstehenden bei Gelegenheit der ihnen verwandten Zellorgane erwähnt wurden, einer kurzen Musterung unterwerfen.

Betrachten wir (Fig. 67) einen Durschnitt durch ein Blatt, so sehen wir mehrere Lagen verschieden gestalteter Zellen. Die beiden Flächen sind begrenzt von je einer Zellschicht, welche als Oberhaut, Epidermis, bezeichnet wird. Unterhalb der Epidermis der nach oben gerichteten Blattfläche liegen langgestreckte Zellen, welche als Palisadenparenchym bezeichnet werden; den Raum zwischen diesen und der Epidermis der unteren Blattfläche füllen Zellen aus, die man in ihrer Gesamtheit Schwammparenchym nennt.

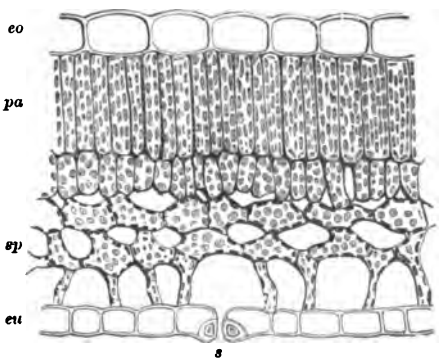


Fig. 67.

Stück eines Querschnittes durch ein Blatt von Fagus silvatica. *eo* obere, *eu* untere Epidermis; *s* Spaltöffnung; *pa* Pallisaden-, *sp* Schwammparenchym. Vergr. 350.

Der Aufbau des Pflanzenkörpers aus Zellen bleibt auch bei den am meisten veränderten Geweben in der Regel noch deutlich erkennbar, was bei den tierischen Geweben nicht in demselben Maße der Fall ist. Die Zellwandungen der Pflanzenzellen werden häufig stark verdickt, wodurch sie eine große Festigkeit erlangen können. Die Zellen strecken sich durch vermehrtes Wachstum hauptsächlich in einer Richtung. Dabei hält meist das Wachstum des Protoplasmas nicht gleichen Schritt mit dem der Zellwand, so dass es auf einen dünnen Belag der letzteren reduziert wird. In vielen Zellen stirbt später das Protoplasma ganz ab; dann bleiben nur die stark verdickten Zellwände zurück, welche als Stützorgane dienen; oder die in die Länge gewachsenen Zellen verschmelzen miteinander durch vollständiges oder teilweises Einschmelzen der Zwischenwände, so dass aus ihnen lange Röhren oder Gefäße für die Zirkulation der Nährstoffe und Absonderungen werden. Gleichzeitig entsteht in den zwischen den Zellen bleibenden oder erst nachträglich durch die Verlagerung der Zellen sich ausbildenden Intercellularräumen ein die ganze Pflanze durchziehendes System von lufterfüllten Gängen, welche an bestimmten Stellen mit der Außenluft in Verbindung stehen.

Die oben erwähnte Oberhaut oder Epidermis überzieht in der Regel in einer, selten in mehreren Schichten die Außenflächen;

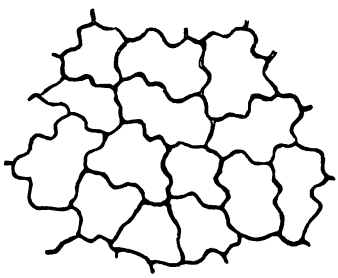


Fig. 68.

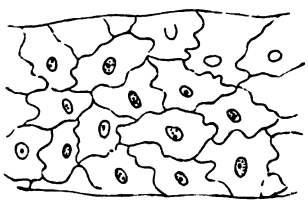


Fig. 69.

Fig. 68. Epidermiszellen der Blattoberseite von Mercurialis perennis. Vergr. 300.

Fig. 69. Endothelbelag eines Lymphgefäßes. Vergr. 240.

die nach außen gerichteten Abschnitte der Zellwandungen sind bei Pflanzen meistens stärker verdickt und von einer, kontinuierlich über die Zellgrenzen fortgehenden Schicht, der Cuticula, bedeckt, die oft noch von einer wachsartigen Masse überzogen ist. So wird das darunter gelegene Gewebe vor allzugroßem Wasserverlust geschützt; Verdunstung kann nur an einzelnen Lücken der Epidermis, von denen noch die Rede sein wird, erfolgen. Von der Fläche gesehen, zeigen die Epidermiszellen selten quadratische, häufiger ge-

streckt rechteckige oder unregelmäßige Umrisse (Fig. 68). Sie gleichen den zelligen Überzügen, welche bei Tieren sehr oft die geschlossene Hohlräume begrenzenden Flächen überziehen und dort Endothelien genannt werden (Fig. 69). Die Schleimhäute, welche die nach außen sich öffnenden Höhlen und Kanäle des Darmrohres u. s. w. auskleiden, sind meistens von mehrschichtigen Zelllagen überzogen, deren untere Lagen aus rundlichen, deren obere aus platten oder auch zylindrischen, mit ihrer Längsaxe senkrecht zur Fläche gestellten Zellen bestehen. Die äußere Haut der höheren Tiere ist von mehreren Zelllagen bedeckt, dessen äußerste in flache, sehr wasserarme, verhornte Schüppchen umgewandelt sind. Die Zellen, welche die äußere Haut und die Schleimhäute bedecken werden unter dem Namen Epithelien zusammengefasst.

Außer den Epithelien unterscheidet man von tierischen Geweben noch die Stütz- und Bindesubstanzen, welche in den verschiedenen Formen des eigentlichen Bindegewebes, des Knorpel- und Knochengewebes auftreten, dann das Muskel-, das Drüsen- und das Nervengewebe. Das Bindegewebe umhüllt alle Formelemente der tierischen Organe mit Scheiden derart, dass, wenn man sich die Substanz der Organe fortgenommen denkt, ein Gerüst von Bindegewebe übrig bleiben würde, welches noch ganz die äußere Form der Organe hätte. Ausgebildetes Knorpel- und Knochengewebe kommt nur bei Wirbeltieren vor; bei den Wirbellosen tritt an die Stelle der Knochen sehr oft das Chitingerüst, welches wie die Knochen seine große Festigkeit durch Einlagerung von Kalksalzen erhält. Als Beispiel geben wir in Fig. 70 die Abbildung eines tierischen Gewebes, bei welchem Zellen mit verdickten Membranen in einer von den Zellen ausgeschiedenen Intercellularsubstanz liegen. Es ist dies das Knorpelgewebe. Je nachdem die Intercellularsubstanz homogen bleibt oder sich in Fasern spaltet, unterscheidet man hyalinen, faserigen und Netzknorpel. Zuweilen, namentlich im höheren Alter, werden in der Intercellularsubstanz Kalksalze abgelagert, wodurch der Knorpel fast die Konsistenz von Knochen erhält. Echte Knochen enthalten gleichfalls Zellen, eingelagert in

Fig. 70.

Hyaliner Knorpel. *Knh* Knorpelhöhle; *Knz* Knorpelzellen; *Knz'* geschrumpfte Knorpelzelle. Vergr. 350.

Lücken oder Höhlen der Grundsubstanz, welche aus Ossein und viel Kalksalzen besteht. Das Ossein hat einen fibrillären Bau und ist in konzentrischen Lamellen um die sogenannten Havers'schen Kanälchen angeordnet, in welchen Blutgefäße verlaufen.

12. Drüsen. 12. Da von dem Muskel- und Nervengewebe an späterer Stelle ausführlicher die Rede sein wird, so bleibt uns hier nur noch die Besprechung des Drüsengewebes. Das wesentliche Element desselben sind die Drüsenzellen, welche von Histologen häufig auch wegen ihrer Ähnlichkeit mit Epithelzellen Drüsenepithelien genannt werden. Physiologisch haben sie aber mit Epithelien nichts gemein, sondern sind als ein eigenes Gewebe anzusehen. Drüsen sind zellige Organe, in deren Zellprotoplasma chemische Umsetzungen zu stande kommen, durch welche sie bestimmte physiologische Funktionen erfüllen. Wir unterscheiden einzellige und mehrzellige Drüsen. Sie kommen sowohl bei Pflanzen wie bei Tieren vor.

Um das Wesen der Drüsenthätigkeit zu erklären, müssen wir auf einige Thatsachen zurückverweisen, auf welche wir schon bei Besprechung der Lebenserscheinungen von Kaninchen und Amöben aufmerksam gemacht haben. Wie wir gesehen haben, kann die Amöbe fremde Körper aufnehmen und sich von ihnen ernähren. Die aufgenommenen Stoffe müssen zu diesem Zwecke gelöst werden. Sind sie vermöge ihrer chemischen Beschaffenheit an sich unlöslich, so muss der Lösung eine chemische Veränderung der Stoffe vorausgehen. Wir haben deshalb der Amöbe die Fähigkeit zugeschrieben, die aufgenommene Nahrung chemisch zu verändern oder, wie wir es genannt haben, zu verdauen.

In anderer Weise spielt sich der Vorgang bei Lebewesen ab, welche von einer festen Membran umschlossen sind. Solche Lebewesen, z. B. Bakterien, können nur gelöste Stoffe aufnehmen. Es giebt jedoch unter ihnen einige, welche imstande sind, Stärke, feste Gelatine oder Eiweißkörper, mit denen sie in Berührung kommen, zu lösen, oder richtiger gesagt, eine chemische Veränderung in ihnen hervorzubringen, durch welche die in der Kälte nur unvollkommen lösliche Gelatine oder die ganz unlösliche Stärke oder Eiweißkörper in leicht lösliche Stoffe (Zucker, Peptone) verwandelt werden (Vergl. Kap. 10 § 9 und 17).

Die Verdauung, welche bei der Amöbe im Innern ihres Leibes oder intracellulär vor sich geht, erfolgt also bei diesen Bakterien extracellulär.

Um dies zu erklären, müssen wir annehmen, dass aus dem Organismus der Bakterie ein Stoff austritt, welcher außerhalb derselben die Gelatine oder das Eiweiß umwandelt.

In beiden Fällen sind von dem lebenden Protoplasma Stoffe erzeugt worden, welche die chemische Umwandlung veranlassen. Diese Stoffe

nennt man Fermente oder Enzyme, ihre Erzeugung Absonderung oder Sekretion.

Wir haben ferner gesehen, dass aufgenommenes Wasser, im Wasser gelöste und bei den Lebensvorgängen entstandene Stoffe ausgeschieden werden, sei es einfach durch Diffusion an der Oberfläche, sei es unter Mitwirkung der kontraktilen Vakuolen, sei es durch eigene Ausscheidungsorgane. Nennen wir diesen Prozess zum Unterschied von der Absonderung oder Sekretion, Aussonderung oder Exkretion, so ergiebt sich eine vollkommene Analogie der an einzelnen Zellen konstatierten Thatsachen zu den verwickelten Vorgängen gleicher Art beim Kaninchen (Vergl. Kap. 11 § 10). Die Exkrete sind meistens Produkte des Stoffwechsels, Zersetzungsprodukte des Protoplasmas, welche bei den Lebensvorgängen hauptsächlich durch Oxydation entstanden sind. Sie haben für den Organismus keinen Nutzen mehr, können sogar, wenn sie sich anhäufen, schädlich werden. Sekrete dagegen, auch wenn sie, wie bei den Bakterien, außerhalb des Organismus erst zur Wirkung kommen, sind für denselben von wesentlicher Bedeutung, nützen ihm, sei es zur Ernährung, sei es in anderer Weise.[1])

Wird die Fähigkeit der Sekretion und Exkretion, wie dies auch mit anderen Zelleigenschaften geschieht, bei der Differenzierung in einzelnen Zellen unter Zurücktreten anderer Lebenseigenschaften gesteigert, so entstehen Drüsenzellen und die aus ihnen gebildeten sekretorischen oder exkretorischen Organe heißen Drüsen.

Einzellige Drüsen sind die Brennhaare der Brennnessel (Fig. 71). Die stark in die Länge gewachsene, auf einem vielzelligen Unterbau sitzende Haarzelle, deren Wände verkalkt und deren Spitze verkieselt ist, enthält einen stark ätzenden Saft. Kommt das Haar in Berührung mit der Haut von Tieren, so bricht das Köpfchen an der unter demselben befindlichen dünnsten Stelle ab, die scharfe

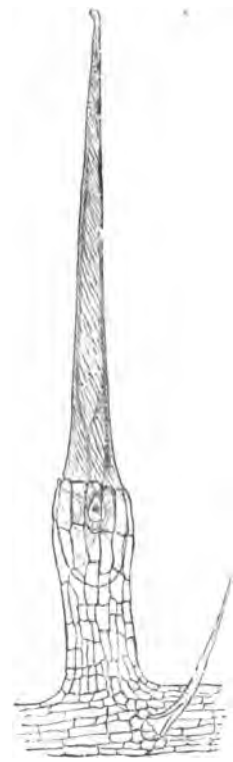


Fig. 71.
Brennhaar von Urtica dioica. Auf einem aus schmalen Zellen der Epidermis gebildeten Pfeiler der Epidermis steht das aus einer Zelle bestehende Brennhaar mit seinem verkieselten Köpfchen, welches bei Berührung abbricht, wobei sich der ätzende Inhalt des Haars entleert.

[1]) Als Beispiel hierfür kann auch an das Gift der Schlangen oder an das Sekret, durch welches das Stinktier (*Mephitis mesomelas*) seine Feinde verscheucht, erinnert werden. Vgl. auch das im Kap. 11, § 10 Gesagte.

Spitze dringt in die Haut ein und der Zellinhalt ergießt sich in die Wunde. Diese Brennhaare erinnern an die Nesselfäden, welche wir bei Cnidarien (s. ob. § 6) kennen gelernt haben.

Andere Drüsen bei Pflanzen sondern Harze, Schleim, Gummi u. s. w. ab, welche zum Teil in innere Behälter und Intercellularräume, zum Teil an die Oberfläche ergossen werden, die Nektarien Zuckerlösungen, welche zum Anlocken der die Bestäubung vermittelnden Insekten dienen, wieder andere die denselben Zwecken dienenden Düfte u. s. w. Besondere Erwähnung verdienen die verdauenden Fermente, welche manche Pflanzen in eigenen Drüsen absondern und welche sie befähigen, ähnlich wie Tiere, proteinartige Stoffe, kleine Tiere u. d. g. zu ihrer Ernährung zu verwenden. Insekten fangende Pflanzen sind die Droseracen, die Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipola*) und mehrere Nepenthes- und Sarraceniaarten. Bei dem auf Torfmooren wachsenden Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), stehen auf den kreisrunden Blättern in großer Zahl Fühler oder Tentakeln (Fig. 72), welche an ihrem oberen, kolbig angeschwollenen Ende eine klebrige Flüssigkeit absondern; an dieser bleiben Fliegen, Schmetterlinge u. s. w. leicht hängen. Die Fühler krümmen sich dann nach der Blattmitte zu, das Blatt selbst wird konkav und das gefangene Tier wird durch das abgesonderte ferment- und ameisensäurehaltige Sekret verdaut; die gebildeten Peptone werden resorbiert. Ähnlich ist es bei Dionaea, während bei den Nepenthes- und Sarraceniaarten in kannenförmig umgewandelten Blättern Tiere wie in einer Falle gefangen und durch die am Grunde der Kanne angesammelte fermenthaltige Flüssigkeit verdaut werden.

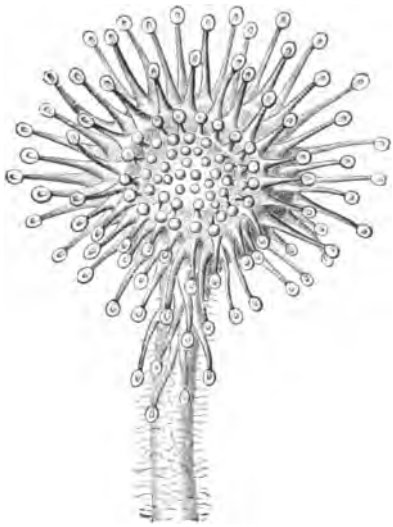


Fig. 72.
Blatt von Drosera rotundifolia mit den gestielten Drüsen, welche klebrige und Eiweiß lösende Tröpfchen absondern.

Die Fähigkeit zur Erzeugung proteolytischer und amylolytischer Fermente oder Enzyme ist aber im Grunde genommen allem pflanzlichen Protoplasma eigen. Durch sie werden die an einzelnen Stellen abgelagerten Proteine und unlöslichen Kohlenhydrate in lösliche Stoffe umgewandelt, so dass sie durch den Säftestrom fort-

geführt und an anderen Stellen verwertet werden können. Hierüber wird später Näheres mitgeteilt werden.

Eine reichliche Ausbildung von Drüsen aller Art findet sich bei Tieren, bei welchen sie teils als Verdauungs-, teils als Ausscheidungsdrüsen den mannigfachsten Zwecken dienen. Auch bei Tieren kann man einzellige und mehrzellige Drüsen unterscheiden. Erstere kommen auf Schleimhäuten, seltener in der Haut zwischen den Epithelzellen vor. Ihr Inhalt verwandelt sich zuweilen ganz und gar in ein Sekret, welches im ganzen ausgestoßen wird, wobei die Zelle zu Grunde geht. Oder es geht eine fortwährende Umwandlung mit gleichzeitigem Wiederersatz im Zellprotoplasma vor sich, so dass die Zelle als solche erhalten bleibt. In mehrzelligen Drüsen liegen die Zellen in einer Vertiefung oder Einsenkung der Oberfläche des Organs, von einer eigenen Membran umhüllt, welche am unteren Ende geschlossen, am oberen offen ist. Man nennt dann das geschlossene Ende Drüsengrund oder Fundus, den übrigen Teil der Drüse, soweit die spezifischen Drüsenzellen reichen, Drüsenkörper, und das offene Ende Ausführungsgang; dieser ist vom Drüsenkörper zuweilen durch eine Verengerung, den Drüsenhals, abgegrenzt. Drüsenhals und Ausführungsgang sind mit Epithel ausgekleidet, welches meist aus einer Schicht kubischer oder cylindrischer Zellen besteht. Liegt die Drüse entfernt von der Oberfläche, so kann der Ausführungsgang eine erhebliche Länge haben.

Drüsen, welche reichlich Sekret liefern, bedürfen zur Bereitung desselben auch einer reichlichen Zufuhr von Rohmaterial. Dieses wird bei höheren Tieren durch ein engmaschiges Netz von Blutgefäßkapillaren geliefert, das sich auf der Außenfläche der Grundmembran verzweigt. Die Oberfläche, auf welcher sich die Gefäße und die Drüsenzellen, voneinander nur durch die sehr zarten Membranen getrennt, berühren, ist bei größeren Drüsen durch verschiedene Mittel vergrößert. Entweder ist der einfache Drüsenschlauch sehr lang und dann zuweilen zu einem Knäuel aufgewunden, oder der Schlauch ist in zwei oder mehr Zipfel geteilt. Ist der Drüsengrund kuglig aufgetrieben, dann nennt man die Drüse flaschenförmig. Wenn dies zugleich mit Verzweigung des Ausführungsganges verbunden ist, dann sitzen die kugligen Fundi an den Zweigen des Ausführungsganges wie die Beeren einer Weintraube an ihren Stielen. Solche Drüsen heißen deshalb traubenförmige oder acinöse oder auch, da die einzelnen Beeren, welche zu demselben Nebenzweige gehören, kleine Läppchen bilden, alveoläre Drüsen. Zum Unterschied nennt man die anderen tubulöse oder röhrenförmige. In Fig. 73, S. 348 ist die Entstehung der verschiedenen Drüsenformen schematisch dargestellt.

13. Verschiedene Grade der Arbeitsteilung.

13. Aus den Geweben bauen sich die Organe und aus ihnen die ganzen Organismen der vielzelligen Lebewesen auf. In jedem Organ pflegt ein Gewebe vorzuwiegen; diesem verdankt dann das Organ seine hervorstechendsten Eigenschaften. Durch die verschiedenen Entwickelungsstufen der Organe und die Art ihrer Zusammenfügung kommt die ungeheure Mannigfaltigkeit verschiedener Organismen zu stande, die wir in der Gesamtheit der Lebewelt antreffen. Manche Organe bleiben bei einzelnen Gruppen von Lebewesen auf einer niederen Stufe der Entwickelung stehen oder erleiden im Laufe des Lebens eine Rückbildung, während andere Organe zu höherer Entwickelung gelangen. Findet dies bei einzelnen Individuen

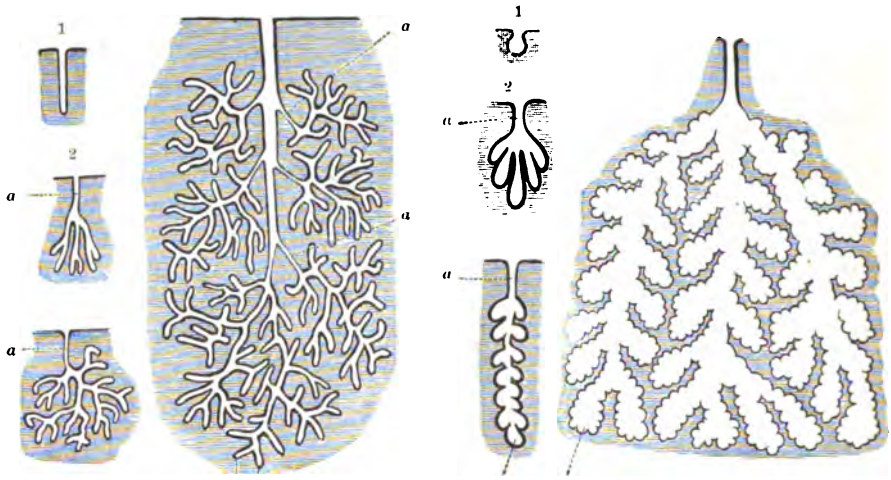


Fig. 73.

Schema der Drüsenformen. Auf der linken Seite sind die tubulösen oder röhrenförmigen, auf der rechten die acinösen oder traubenförmigen Drüsen dargestellt. Sie entwickeln sich aus den einfachen Formen 1 und 2 durch wiederholte Verästelung. *a* ist der Ausführungsgang.

derselben Art in verschiedener Weise statt, dann kann jedes Individuum allein nicht mehr als vollständiger Typus seines Artcharakters gelten; erst durch Zusammenfassung mehrerer Individuen, von denen einige Organe besitzen, welche anderen fehlen, gewinnt man eine Übersicht aller Charaktere, welche der Spezies zukommen.

Am häufigsten findet sich diese einseitige Entwicklung bei den Organen der Fortpflanzung; sie führt zu der Trennung in zwei Geschlechter, wie sie bei den höheren Lebewesen die Regel ist, während bei niederen entweder gar keine geschlechtliche Differenzierung besteht, oder beide Geschlechtsfunktionen in einem Individuum vereinigt sein können. Da, wo die Geschlechter getrennt sind, können neben den der Reproduktion dienenden Geschlechtsorganen häufig auch noch andere Organe bei den beiden Geschlechtern ungleich ausgebildet

sein. Dann findet man neben den eigentlichen geschlechtlichen Verschiedenheiten noch andere, bald mehr, bald weniger hervorstechende Unterschiede, sogenannte sekundäre Geschlechtscharaktere. Sie können in einzelnen Fällen so weit gehen, dass die beiden Geschlechter einander vollkommen unähnlich werden.

In anderen Fällen führt die Verkümmerung einzelner Organe dazu, dass sich eine hochgradige Arbeitsteilung unter den verschiedenen Individuen ausbildet. Diese sind aufeinander angewiesen wie sonst die Organe eines und desselben Individuums. Sie können nur im gemeinschaftlichen Zusammenleben allen Bedingungen der Existenz genügen. Sind dabei die Individuen vollkommen getrennt, so dass jedes seine volle Beweglichkeit behält, so enstehen Gemeinschaften, welche man wegen ihrer Ähnlichkeit mit menschlichen Gesellschaften Tierstaaten genannt hat. Ausgeprägte Beispiele bieten die Staaten der Bienen, Ameisen und Termiten. Ein Teil der Tiere hat die Geschlechtsfunktion durch Verkümmerung der Geschlechtsorgane eingebüßt. Bei Bienen und Ameisen trifft dieses Los nur Weibchen, bei Termiten auch Männchen. Sie haben im Gemeinwesen für Einsammlung der Nahrung, Fütterung der Larven, Bau der Nester u. s. w. zu sorgen. Bei den Bienen nennt man diese Individuen Arbeiterinnen; bei den Termiten giebt es daneben auch Arbeiter. Da ein Teil derselben ausschließlich die Verteidigung gegen Feinde zu besorgen hat, so unterscheidet man diese „Soldaten“ als einen besonderen „Stand“. Die Fortpflanzung dagegen fällt einem bevorzugten Weibchen, der Königin, zu, welche entweder viele Drohnen oder auch nur ein bevorzugtes Männchen (König) als Glieder ihres Hofstaats um sich hat.

Bleiben die einzelnen Individuen derart mit einander verbunden, dass sie in einem gemeinsamen Gehäuse eingeschlossen oder sonstwie so verbunden sind, dass ihre freie Beweglichkeit mehr oder weniger eingeschränkt ist, so haben wir es nach der von uns schon früher gebrauchten Bezeichnung mit einer Kolonie zu thun. Wenn aber die einzelnen Glieder einer solchen Kolonie sich sehr voneinander unterscheiden, so dass jedes nur für einen Teil der Verrichtungen, welche zur Erhaltung des Lebens erforderlich sind, geeignet ist, dann nennt man eine solche Gemeinschaft einen Tierstock. Die einzelnen Personen des Stockes sind dann sozusagen zu Organen des Ganzen geworden. So kann es beim ersten Blick scheinen, als wäre der Stock ein komplizierter Organismus und die Einzeltiere wirkliche Organe desselben. Die genauere Untersuchung der Lebensvorgänge und der Entwickelung solcher Lebewesen zeigt aber, dass es sich in Wirklichkeit um eine Vereinigung von Individuen oder Personen zu einer Kolonie handelt, in welcher die Arbeitsteilung zwischen den

Individuen bis zu einem sehr hohen Grade vorgeschritten und dementsprechend die Entwicklung der Individuen sehr einseitige Richtungen eingeschlagen hat. Eine Andeutung solcher verschiedenen Ausbildung der Einzelindividuen sahen wir schon bei *Volvox* (vgl. Kap. 12 § 11). Viel deutlicher ausgeprägt finden wir sie bei den Hydromedusen. Ein Stock dieser Art, z. B. die in Fig. 74 dargestellte *Companularia* besteht aus

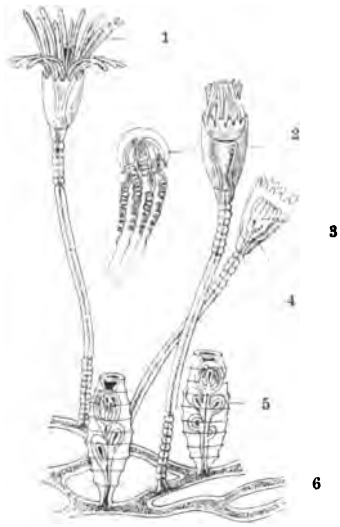


Fig. 74.

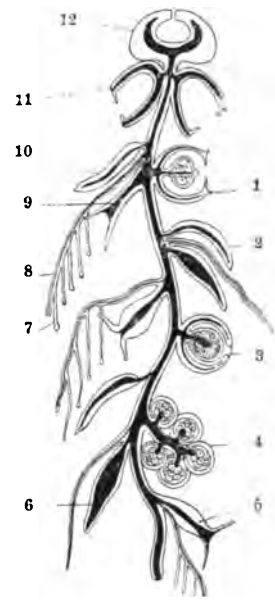


Fig. 75.

Fig. 74. Campanularia Johnstoni, eine Kolonieen bildende Hydromeduse. Die einzelnen Tiere der Kolonie, die sogenannten Hydranthen, sitzen mit ihren Stielen auf dem verzweigten Hydrocaulus (6). Stiele und Hydrocaulus sind hohle, aus Entoderm, Stützlamelle und Ektoderm gebildete Röhren, durch welche die von den Hydranthen aufgenommene Nahrung sich in alle Teile der Kolonie verteilt. 1 ein ausgestrekter Hydranth mit seinen um die Mundöffnung herum angeordneten Tentakeln. Bei 3 ist der Hydranth in seine, von einer cuticularen Ausscheidung des Ektoderms gebildeten Scheide, Hydrotheca, 4, zurückgezogen, 5 zeigt die anders gestalteten, die Fortpflanzung besorgenden Personen, Gonotheca genannt. Aus ihnen entstehen durch sogenannte Knospung frei schwimmende Medusen (2), welche sich später festsetzen und eine neue Kolonie hervorbringen.

Fig. 75. Schema eines Siphonophorenstockes. 1, 3 und 4 Geschlechtspolypen (Gonophoren); 2 Deckstück; 5 Fresspolyp; 6 Tastpolyp; 7 Fäden mit Nesselkapseln; 8 Tentakel; 9 Fresspolyp; 10 Deckpolyp; 11 Schwimmglocke; 12 Schwimmblase.

ungeschlechtlichen Polypen und Geschlechtstieren oder Medusen. Letztere werden von den ersteren ernährt, indem ihnen durch verzweigte Kanäle die von den Polypen aufgenommene und verdaute Nahrung zugeführt wird. Die Medusen lösen sich später los, schwimmen eine Zeit lang frei umher und erzeugen dann Polypen-

stöcke, aus denen durch Knospung wieder Medusen hervorgehen. Man nennt diese eigentümliche Art der Fortpflanzung Generationswechsel; sie kommt bei niederen Tieren und vielfach bei Pflanzen vor. Wir gehen hier nicht weiter auf sie ein, weil es uns nur darauf ankommt, zu zeigen, dass der Stock aus zwei verschiedenen Arten von Individuen von verschiedener Gestalt und von verschiedenen Verrichtungen besteht.

Viel weiter durchgeführt ist die Personendifferenzierung bei den Siphonophoren. In Fig. 75 ist ein Siphonophorenstock in schematischer Darstellung abgebildet; Fig. 76 zeigt das Aussehen eines solchen Stockes mit seinen ganz verschieden gestalteten und verschiedenen Verrichtungen angepassten Personen. Ein gemeinsamer Ernährungsschlauch durchzieht den ganzen Stock; derselbe schwebt im Wasser, getragen von einer an seinem oberen Ende befindlichen lufthaltigen Blase. Schwimmglocken besorgen durch Einsaugen und Ausstoßen von Wasser die Ortsbewegung des Stockes. Nahrungsaufnahme erfolgt durch die Fresspolypen, denen die mit Nesselapparaten versehenen Fangfäden die Nahrung zuführen; von ihnen gelangt der verdaute Nahrungssaft durch den gemeinsamen Nahrungsschlauch zu allen anderen Personen. Die Wahrnehmung äußerer Objekte vermitteln die Taster, die Fortpflanzung getrennte männliche und weibliche Geschlechtstiere. Alle diese Einzeltiere sind Umformungen einer und derselben Grundform; sie haben sich durch Differenzierung den verschiedenen Verrichtungen angepasst, wie es bei den höheren Tieren die einzelnen Organe gethan haben. Aber sie sind doch ihrer Organisation nach ganze Tiere geblieben, wenn auch unvollkommene, einseitig entwickelte. Deshalb können auch die einzelnen, von ihrem Stock losgelöst, noch mehr oder weniger lange weiter leben und unter Umständen den ganzen Stock wieder erzeugen. Dass dies möglich ist, verdanken sie dem Umstand, dass alle Gewebe, aus denen ein solches Tier besteht, in jedem Teiltier vorhanden sind. Deren sind bei den Polypen allerdings nur zwei, das Ektoderm und das Entoderm, welche durch eine feine, struktur-

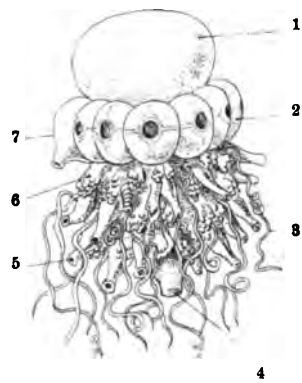


Fig. 76.

Stephalia corona, eine Siphonophore, gleichfalls zu den Hydromedusen gehörig. Die Arbeitsteilung zwischen den Personen des Stockes hat zu einer großen Verschiedenheit der Formen geführt, doch lassen sich alle Formen auf den Grundtypus des Polypen zurückführen. 1 Schwimmblase; 2 Schwimmglocken; 3 Tentakel; 4 Öffnung des Hauptmagenschlauchs; 5 Fresspolypen; 6 Gonophorentrauben; 7 Luftkanal, welcher in die Schwimmblase einmündet.

lose Stützlamelle getrennt sind. Bei höheren Lebewesen, deren Bau ein komplizierterer ist, kommen Teile, in denen alle zur Erhaltung des Lebens erforderlichen Elemente vertreten sind, viel seltener vor. Dennoch können auch bei diesen abgelöste Organe oder selbst Bruchstücke von solchen ihre Lebenseigenschaften noch mehr oder weniger lange bewahren und unter günstigen Umständen sich zu einem vollständigen Organismus ergänzen.

Am leichtesten geschieht dies bei losgelösten Teilen von Pflanzen. Selbst höhere Pflanzen können in vielen Stücken als eine Vereinigung zahlreicher Einzelindividuen angesehen werden, wenngleich diese nicht so voneinander gesondert sind wie die Individuen oder Personen der oben geschilderten Tierstöcke. Die Trennung kann deshalb auch an verschiedenen Stellen erfolgen; sie ist nicht an bestimmte Grenzen gebunden. Ein abgeschnittener Zweig, eine einzelne Blume mit ihrem Stiel in Wasser gestellt, aus dem sie dieses und in ihm gelöste Stoffe aufnehmen können, bleiben lebend. Unter Umständen können sie, in Erde gesteckt, Wurzeln bilden und so zu einer ganzen neuen Pflanze sich umformen.

Vierzehntes Kapitel.

Der Stoffwechsel der Lebewesen.

1. Atmung und Kreislauf.

1. Unter der Bezeichnung Differenzierung haben wir Vorgänge kennen gelernt, durch welche im Laufe der Entwicklung eines Lebewesens die ursprünglich gleichen, von einer gemeinsamen Mutterzelle herstammenden Zellen sich nach verschiedenen Richtungen umwandeln und dadurch die Gewebe und Organe komplizierter Lebewesen bilden. Woher es kommt, dass diese Entwicklung bei verschiedenen Lebewesen in so außerordentlich verschiedener, bei jedem einzelnen aber stets in gleicher Weise erfolgt, warum aus dem einen Ei eine Eiche, aus dem anderen eine Ringelnatter oder ein Adler wird, ist eine Frage, deren Beantwortung wir vorerst aussetzen. Für jetzt nehmen wir die Existenz aller dieser mannigfachen, uns bekannten Lebewesen als eine gegebene Thatsache. Wir wollen zunächst untersuchen, welcher Art die allen Lebewesen gemeinsamen Eigenschaften sind, und wie sie sich in jedem einzelnen Falle durch die besondere Organisation des betreffenden Lebewesens einerseits und durch die Bedingungen, unter denen es lebt, andererseits gestalten. 1. Stoffwechsel.

Aus allem, was wir bisher erfahren haben, können wir folgende Sätze ableiten. Die Materie, aus der ein Lebewesen besteht, wird fortwährend durch chemische Prozesse, namentlich durch Einwirkung des Sauerstoffs, angegriffen und teilweise zerstört; sie muss, wenn das Leben erhalten werden soll, fortwährend erneuert werden. Es ist also ein Stoffaustausch zwischen dem Lebewesen und seiner Umgebung notwendig. Diesen Vorgang nennen wir Stoffwechsel.

Bei den mikroskopisch kleinen einzelligen Lebewesen, welche frei im Wasser leben, ist die Wechselwirkung zwischen Lebewesen und Umgebung verhältnismäßig leicht zu verstehen. Der Stoffaustausch kann unmittelbar zwischen dem Lebewesen und der Umgebung stattfinden; das Leben wird bestehen können, wenn die Umgebung imstande ist, die zum Leben notwendigen Stoffe abzu-

geben und die von den Lebewesen abzugebenden Stoffe aufzunehmen. Das Verhältnis bleibt aber auch im wesentlichen das gleiche, wenn wir an die Stelle eines Einzellers eine Zelle eines komplizierten Lebewesens und an die Stelle der äußeren Umgebung die Flüssigkeit setzen, von welcher jene umspült wird. Nur müssen wir in diesem letzteren Falle zwei sich gegenseitig bedingende Reihen von Vorgängen unterscheiden, erstens die Wechselwirkung zwischen jeder Zelle und ihrer nächsten Umgebung, zweitens diejenige zwischen dem ganzen Lebewesen und dem Mittel, in welchem dasselbe lebt. Denn was jede Zelle aus der sie unmittelbar umspülenden Flüssigkeit aufnimmt oder was sie an diese abgiebt, muss, wenn das Leben auf die Dauer bestehen soll, aus der Umgebung des Ganzen aufgenommen oder an sie abgegeben werden.

Die Aufnahme von Wasser und in diesem gelösten Stoffen sowie von absorbiertem Sauerstoff erfolgt bei den Einzellern, welche im Wasser leben, durch Diffusion von der Körperoberfläche her, ebenso die Abgabe gelöster Stoffe und absorbierten Kohlendioxyds an die Umgebung. Sobald die Sauerstoffspannung innerhalb des Leibes geringer ist als im umgebenden Wasser, muss eine Wanderung desselben in den Leib hinein erfolgen; da dieser eingewanderte Sauerstoff innerhalb des Leibes immerfort Verbindungen mit anderen Stoffen eingeht, so bleibt der Spannungsunterschied bestehen; die Einwanderung dauert also fort, solange das umgebende Wasser genug Sauerstoff enthält. Aus demselben Grunde muss das im Körper entstehende Kohlendioxyd fortwährend aus der Leibessubstanz in das umgebende Wasser hineindiffundieren. Und endlich wird in ähnlicher Weise eine fortwährende Diffusion im Wasser gelöster Stoffen in die Leibessubstanz und im Körper entstehender löslicher Zersetzungsprodukte aus derselben in das Umgebungswasser bestehen. Solange also das letztere genug Sauerstoff absorbiert und genug zur Ernährung geeignete Substanzen gelöst enthält und solange nicht die von dem Lebewesen ausgeschiedenen Exkretionsstoffe sich im Wasser zu sehr anhäufen, sind die Bedingungen für den ungestörten Fortgang des Stoffwechsels gesichert.

Das alles trifft auch da noch zu, wo einfache Lebewesen auf feuchter Unterlage leben. Da sie aus dem Wasser der Unterlage das durch Verdunstung an die Luft verlorene Wasser ersetzen, bleiben sie immer genügend mit Wasser durchtränkt, um sowohl aus diesem wie aus der Luft durch Diffusion Sauerstoff aufnehmen und Kohlendioxyd an die Luft abgeben zu können, während Aufnahme und Abgabe gelöster Stoffe aus dem Wasser der Unterlage und an dasselbe erfolgen kann. In dieser Lage befinden sich viele Bakterien, Myxomyceten, Schimmelpilze u. a.

Anders gestaltet sich die Aufnahme fester, ungelöster Stoffe. Sie geschieht entweder, wie bei Amöben, durch die Kontraktilität des Protoplasmas an jeder beliebigen Stelle der Oberfläche oder, wenn diese durch Ausscheidung einer Cuticula nicht mehr dazu geeignet ist, durch besondere Eingangs- und Ausgangsöffnungen, welche wir als Mund und After bezeichnet haben.

2. Der Stoffaustausch geht um so leichter vor sich, je größer die Oberfläche des Lebewesens im Verhältnis zu seiner Masse ist. Dieses Verhältnis hängt von der geometrischen Gestalt und von der absoluten Größe der Körper ab. Es ist unter allen Körpern am kleinsten bei der Kugel; schlank-gestreckte Körper, dünne Fäden, Platten u. dgl. haben verhältnismäßig große, verzweigte, gelappte Formen noch größere Oberflächen relativ zur Masse. Bei gleicher geometrischer Form ist die Oberfläche im Verhältnis zur Masse um so größer, je kleiner der Körper ist. Da bei größerer Masse unter sonst gleichen Umständen auch der Stoffumsatz größer ist, so wird eine angemessene Vergrößerung der Oberfläche bei vielen Lebewesen zu einer notwendigen Bedingung des Lebens. Ist diese Bedingung erfüllt, dann kann auch bei größeren Lebewesen der Stoffaustausch allein durch die Oberfläche besorgt werden. Beispiele bieten manche große Wasserpflanzen, denen besondere Aufnahme- und Abscheidungsorgane fehlen. Die relative Größe der Oberfläche ist bei diesen durch die schlanke Form gegeben, oft auch durch reichliche Verzweigung noch vermehrt. 2. Vergrößerung der Oberfläche.

Eine andere, namentlich in der Tierwelt sehr verbreitete Form der Oberflächenvergrößerung ist die Bildung eines hohlen Schlauches; gesellen sich dazu Ein- oder Ausstülpungen der Schlauchwand, so wird sie noch wirksamer. Diese Gestaltung des Tierkörpers kommt bei vielen Metazoen als vorübergehendes Entwicklungsstadium vor und wurde als solches im Kap. 13 § 10 unter dem Namen Gastrula erwähnt. Das Lebewesen besteht dann aus zwei Schichten. In den einfachsten Fällen ist jede derselben nur aus einer einfachen Zellschicht gebildet. Bei niederen Metazoen (Spongien, Hydromedusen) bleibt die Entwicklung im wesentlichen auf dieser Stufe stehen. Aber schon bei diesen einfachen Formen kann man eine morphologische Differenzierung der beiden Schichten konstatieren; ihre Zellen entwickeln sich verschieden und weichen bald in Form und Größe voneinander ab. Dieser Differenzierung entspricht eine physiologische Arbeitsteilung; nach vollkommener Ausbildung der beiden Schichten erlangt die äußere, das Ektoderm, eine größere Festigkeit und gewährt dem Tiere Schutz gegen mechanische und sonstige Einwirkungen von außen, die innere dagegen, das Entoderm, bleibt zart und dient vorzugsweise dem Stoffaustausch.

In höheren Stufen der Differenzierung schiebt sich zwischen beide Schichten noch eine dritte, das Mesoderm, ein. Alle höheren Tiere gehen bei ihrer Entwickelung durch ein Stadium, in welchem sie nur aus diesen Schichten bestehen. Aus ihnen entwickeln sich dann erst die verschiedenen Gewebe und Organe.

Die ursprüngliche Einstülpung, wie sie bei der Gastrula vorliegt, ist ein blind endender, d. h. an einer Seite geschlossener Schlauch. Die getrennten Eingangs- und Ausgangsöffnungen des Darmkanals höherer Tiere sind sekundäre Bildungen, welche unabhängig von jener Einstülpung entsteht.

Ein zweites, den Stoffaustausch beförderndes Mittel ist die Veränderung der Berührungsfläche zwischen Lebewesen und Umgebung. Wenn eine Amöbe ihre Gestalt ändert, so wird nicht nur die Oberfläche durch die schlanken Fortsätze vergrößert; es kommen auch Teile der Leibessubstanz, welche im Innern lagen, der Oberfläche näher. Dieser fortwährende Wechsel der Oberfläche muss offenbar die Diffusion begünstigen. In derselben Richtung wirkt jede Ortsveränderung des Tieres oder Bewegung des Wassers, wie sie durch Wimper- oder Muskelbewegung verursacht wird, indem sie das Wasser, welches Stoffe an das Tier abgegeben und andere von dem Tier aufgenommen hat, durch solches ersetzt, dessen Beschaffenheit wieder ungeschwächten Diffusionsaustausch mit dem Tier ermöglicht. Hierfür haben wir im vorigen Kapitel schon Beispiele kennen gelernt.

Die Festigkeit der äußeren Haut wird nicht selten durch Einlagerung von Kalksalzen oder Bildung fester Schalen, bei Landtieren auch durch Verdickung, Eintrocknung und Verhornung der obersten Zellenlagen vermehrt, damit aber zugleich ihr Anteil an dem Stoffaustausch verringert. Dagegen wird der Anteil der inneren Haut durch Verlängerung des die Nahrung u. s. w. aufnehmenden Schlauches, durch Verzweigung, Faltung u. dgl., wodurch die vorzugsweise für die Stoffwechselvorgänge dienende Oberfläche im Verhältnis zur Leibesmasse stark vergrößert wird, wesentlich vermehrt. Kommt dazu noch die erwähnte Bewegung des Wassers, so kann der Stoffwechsel selbst bei bedeutender Größe des ganzen Tieres in genügendem Maße vor sich gehen. Hilfseinrichtungen dieser Art, welche auch bei Protisten vorkommen, sind schon im vorigen Kapitel erwähnt worden. Von anderen, etwas komplizierteren, sollen in den folgenden Paragraphen einige typische Beispiele Erwähnung finden.

3. Gastrovaskularsystem.

3. Wir beginnen die Betrachtung dieser besonderen Einrichtungen mit den niedersten Metazoen, den Coelenteraten. Wir können diese Tiere, wie schon gesagt, mit der Gastrula vergleichen, welche bei höheren Tieren als vorübergehendes Entwickelungsstadium

auftritt, hier aber als Endstadium der Entwickelung bestehen bleibt. Sie bestehen also aus Ektoderm und Entoderm, welches letztere, durch Einstülpung entstanden, eine innere Höhle (Magendarmhöhle) begrenzt und durch eine Öffnung mit der Außenwelt zusammenhängt. Eine Afteröffnung ist nicht vorhanden. Bei der in ihrer Organisation einfachsten Abteilung der Coelenteraten, den Schwämmen oder Spongien, ist die aus den zwei Zellenlagen gebildete Leibeswand von zahlreichen Kanälen durchbrochen, welche in die Magendarmhöhle einmünden. Je nach der Ausbildung dieser Kanäle kann man Unterformen unterscheiden. Bei den einfachsten, dem Typus der Asconen (Fig. 77 *A*), münden die Kanäle unmittelbar in die mit Wimpern oder Geißeln besetzte Leibeshöhle; durch die Bewegung der Wimpern wird das umgebende Wasser durch die Kanäle in die Magendarmhöhle hineingerissen und fließt durch die Mundöffnung wieder ab. Bei dem zweiten Typus, den Syconen (Fig. 77 *B*), münden die Kanäle zunächst in mit Wimpern ausgekleidete, in der Leibeswand gelegene Hohlräume, die Geißelkammern; erst von da gelangt das Wasser in die Magendarmhöhle.

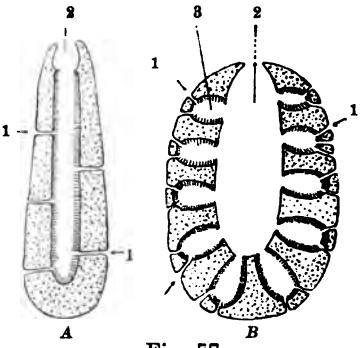


Fig. 77.

Die Grundformen der Spongien. *A* Ascontypus, *B* Sycontypus. Beim Ascontypus ist die Leibeshöhle mit Wimperzellen ausgekleidet; durch Porenkanäle (1) tritt Wasser in dieselbe ein und durch die Mundöffnung (2) aus. Beim Sycontypus tritt das durch die Poren eindringende Wasser in Geißelkammern (3), welche in der Leibeswand liegen, und aus diesen in die Leibeshöhle.

Aus diesen einfachen Formen lassen sich die Formen der anderen Schwämme ableiten, wenn man sich die Leibeshöhle verästelt denkt. Die Auskleidung der Kanäle besteht aus nicht flimmernden platten Zellen, die erweiterten Geißelkammern dagegen haben dieselbe Beschaffenheit wie die ganze Entodermhöhle des einfachen Schwammes.

Bei den anderen Coelenteraten (den Cnidarien) fehlen die Poren der Leibeswand; der Mund dient zur Aufnahme des Wassers in die Magendarmhöhle und zugleich zur Ausstoßung nach erfolgtem Stoffaustausch. Die Bewegung des Wassers wird bei diesen Tieren nicht nur durch Wimpern, sondern auch durch Muskeln bewirkt. Die Oberfläche der Magendarmhöhle ist bei vielen Coelenteraten durch Entwicklung reichverzweigter Gänge bedeutend vergrößert; damit ist gleichzeitig erreicht, dass trotz der Vergrößerung der Leibesmasse zwischen dem Wasser und allen Teilen der Leibessubstanz die Diffusionsvorgänge in wirksamster Weise sich vollziehen können.

Man bezeichnet diese Einrichtung, weil der vom Entoderm begrenzte, als Magen und Darm dienende Hohlraum, dessen Wandungen

den Stoffaustausch vermitteln, sich in der Weise verästelt, wie es bei anderen Tieren die Blutgefäße thun, als Gastrovaskularsystem. Dass auch bei Tieren, welche im zoologischen System einer der höher stehenden Gruppen angehören, der Stoffwechsel auf diese Art zu stande kommen kann, dafür möge die zu den Strudelwürmern oder Turbellarien gehörige *Planaria* (Fig. 78) als Beispiel dienen. Das durch die Mundöffnung aufgenommene Wasser gelangt durch den ausstülpbaren Pharynx in den Magendarm, welcher in reichen Verzweigungen den ganzen Leib durchzieht.[1])

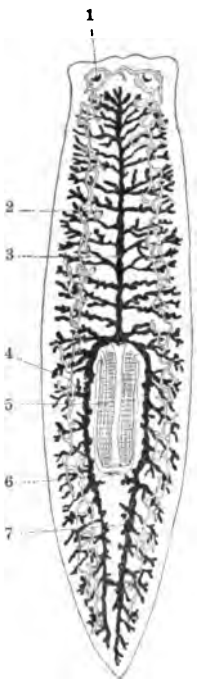


Fig. 78.

Planaria, ein im süßen Wasser lebender Strudelwurm. Das schwarz gezeichnete Gastrovaskularsystem geht von dem an den Mund sich anschließenden, ausstülpbaren Schlund aus und erstreckt sich mit einem vorderen unpaaren und den zwei paarigen hinteren Hauptkanälen und ihren Verzweigungen durch den ganzen Körper. Die hell gezeichneten Kanälchen sind Ausscheidungsorgane (Nephridien).
1 Auge, 2 Nephridienmündung, 3 vorderer Gastrovaskularschenkel, 4 Nephridien, 5 Schlund oder Pharynx, 6 Mund, 7 hintere Gastrovaskularschenkel.

Die Mundöffnung dient zugleich zur Entleerung des Wassers, welches Sauerstoff und Nahrungsbestandteile an die Leibessubstanz abgegeben und einen Teil der entstandenen Zersetzungsprodukte aufgenommen hat. Die Bewegung des Wassers wird durch Geißeln, sowie durch die in der Leibeswand vorhandene Muskulatur unterhalten.

Zu den Cnidarien gehören auch die Anthozoen oder Korallentiere. Von den Hydrozoen, denen sie im äußeren Habitus gleichen, unterscheiden sie sich durch die Entwickelung eines mesodermalen Blattes, welches sich zwischen Ektoderm und Entoderm einschiebt. Sie sind einzelne oder in Kolonien vereinigte, meistens festsitzende Tiere, deren Leib im wesentlichen die Form einer unten geschlossenen, oben offenen Röhre darstellt. Das obere Ende umgiebt wie der Rand eines Tellers (Mundscheibe) die Eingangsöffnung in die innere Höhle. Die Mundscheibe trägt einen einfachen oder doppelten Kranz von Tentakeln. Die in der Mitte der Mundscheibe befindliche ovale oder spaltförmige Mundöffnung führt in ein aus dem Ektoderm gebildetes Schlundrohr und durch

[1]) Die in der Abbildung neben dem (schwarz gezeichneten) Gastrovaskularsystem sichtbaren Kanälchen sind Ausscheidungsorgane, Nephridien; von ihnen wird später die Rede sein.

dieses in die Magendarmhöhle. Die Leibeswand besteht aus drei wohlausgebildeten Schichten, dem Ekto-, Meso- und Entoderm. Das Ektoderm scheidet bei den eigentlichen Korallentieren im engeren Sinne ein Skelett in Form von Röhrchen aus, in welche die Tiere sich so weit zurückziehen können, dass nur die Tentakeln herausschauen.[1]) Von dem Schlundrohr ziehen radial gestellte, an der Mund- und Fußscheibe befestigte Septa zur äußeren Wand, dem Mauerblatt. Durch die Septa wird die Höhle in einzelne Kammern abgeteilt.

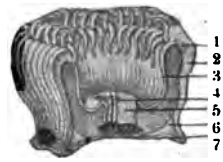


Fig. 79.

Paractis excavata, eine Aktinie, parallel der Längsachse aufgeschnitten. Das Tier besteht aus einem äußeren und einem inneren Rohr, welche oben zusammenhängen. Das äußere Rohr (Mauerblatt 2) ist unten durch die Fußscheibe (7) geschlossen; mit ihr ist das Tier am Grunde festgeheftet. Wo die beiden Röhren zusammenhängen, befindet sich ein starker Ringmuskel (1); nach innen von diesem ein doppelter Tentakelkranz. Das innere Rohr bildet oben die Mundscheibe (3), an welche durch die Schlundrinne (4) von jener abgegrenzt, das Schlundrohr (5) in die Leibeshöhle führt. Zwischen dem inneren und Außenrohr sind radial gestellte Scheidewände (Septa 6) ausgespannt, so dass die Leibeshöhle in eine Anzahl miteinander zusammenhängender Kammern geteilt ist.

Die Tentakeln sind hohle Fortsetzungen dieser Kammern; sie werden durch Einpressen von Wasser ausgestreckt, durch Muskelkontraktion eingezogen. Die starke Muskulatur befähigt die Tiere auch, mit den Tentakeln feste Körper zu ergreifen, in den Magen einzuführen und die Mundöffnung fest zu schließen sowie Wasser einzusaugen und wieder auszustoßen. Von dem aus dem Ektoderm durch Einstülpung entstandenen sogenannten Schlund geht das Wasser und alle mit ihm aufgenommenen Stoffe in die durch die Septa geteilte Höhle über, welche vom Entoderm ausgekleidet ist. Hierdurch ist eine große Oberfläche gegeben, an welcher der Stoffaustausch zwischen der Leibessubstanz und dem Wasser nebst allem, was in diesem enthalten ist, zu stande kommt.

4. Bei den Planarien (Fig. 78 auf S. 358) finden wir neben dem Gastrovaskularsystem, welches einen Teil der Stoffwechselvorgänge vermittelt, noch einen zweiten, für die Ausscheidung von Stoffen allein bestimmten Apparat, die Nephridien. Es ist also hier eine Arbeitsteilung eingetreten, welche bei den Protisten und Coelenteraten noch fehlt. In der That sind die Aufgaben des Stoffwechsels so mannigfache, dass sie, falls es sich um größere Leistungen handelt, nur schwer durch eine und dieselbe Einrichtung bewältigen lassen. Namentlich bei Landtieren, denen der Sauerstoff nicht in Wasser absorbiert, sondern in Gasform zur Verfügung steht und auch das Kohlen-

4. Sauerstoffbedürfnis aller Lebewesen.

[1]) Durch diese meist kalkhaltigen Skelette bauen manche Korallen große Riffe (Korallenriffe) auf.

dioxyd in Gasform abgeschieden werden muss, bedarf es für die Bewegung, Absorption und Abscheidung der Gase ganz anderer Einrichtungen als für die Bewegung, Aufnahme und Abgabe flüssiger und fester Stoffe. Dadurch tritt die Atmung, wie man den Anteil der Gase am Stoffwechsel nennt, als eine besondere charakteristische Lebenserscheinung der höheren Lebewesen getrennt von den anderen hervor. Wenn auch bei dieser wie bei anderen Formen des Stoffwechsels immer Diffusionsvorgänge mitwirken, so treten doch zur Unterstützung der molekularen Bewegungen der Diffusion molare Bewegungen hinzu, welche um so bedeutender sind, je größere Massen in Bewegung gesetzt werden müssen. Während der molekulare Vorgang des durch Diffusion bewirkten Stoffaustausches zwischen Zellen und umgebender Flüssigkeit sich der unmittelbaren Beobachtung entzieht und auch in seinen schließlichen Gesamtwirkungen bei der einzelnen Zelle und den kleineren Lebewesen kaum nachweisbar ist, sind bei größeren Lebewesen die in Bewegung gesetzten Massen so groß und die zu ihrer Bewegung erforderlichen Hilfseinrichtungen so ausgebildet, dass es nicht schwer ist, sie zu erkennen und auch die Mengenverhältnisse der ein- und austretenden Stoffe sowohl im ganzen, wie für jeden Stoff im einzelnen festzustellen. Untersuchungen über den Stoffwechsel konnten deshalb mit gutem Erfolg nur an den größeren, komplizierter gebauten Lebewesen unternommen werden, und erst die an diesen gewonnene Einsicht hat zum Verständnis der analogen Erscheinungen an den einfacheren Lebewesen geführt.

Als eines der wichtigsten Ergebnisse der so gewonnenen Einsicht haben wir schon hervorgehoben, dass für den normalen Ablauf der Lebenserscheinungen die fortwährende Aufnahme von Sauerstoff unbedingt erforderlich ist. Dem scheint zu widersprechen, dass es einzelne Lebewesen giebt, zu deren Gedeihen und lebhafter Vermehrung freier Sauerstoff nicht notwendig ist. Ja einzelne Spaltpilze (Bakterien) können bei Anwesenheit freien Sauerstoffes überhaupt nicht leben; für sie ist freier Sauerstoff, welcher für die meisten Lebewesen ein notwendiges Lebensbedürfnis ist, geradezu ein Gift.

Man hat diesen Lebewesen den Namen Anaëroben oder Anaërobionten gegeben, während man diejenigen, welche sowohl mit als ohne freien Sauerstoff zu leben vermögen, fakultative Anaëroben und alle übrigen, für deren Leben die Gegenwart freien Sauerstoffes notwendige Bedingung ist, Aëroben genannt hat. Es wäre aber falsch anzunehmen, dass bei dem Lebensprozess der Anaëroben nicht wie bei den anderen Lebewesen Aufnahme von Sauerstoff und Oxydation der Leibessubstanz mit Bildung von Kohlendioxyd und anderen Stoffwechselprodukten stattfinde. Der Unter-

schied besteht nur darin, dass die Anaëroben den erforderlichen Sauerstoff aus Sauerstoffverbindungen frei machen und für sich verwerten können. Diese Fähigkeit kommt aber in geringerem Grade auch den Gewebezellen der Tiere zu, da ihnen der Sauerstoff auch nur in chemischer Bindung an andere Stoffe zugeführt wird.[1])

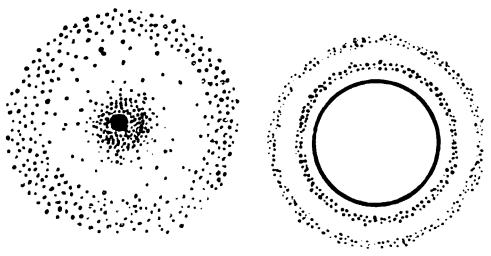
Zu den fakultativen Anaëroben kann man auch die Erreger der alkoholischen Gärung rechnen, die Hefepilze, Sprosspilze der Gattung Saccharomyces. Bringt man diese Pilze in eine Lösung, welche Glukose, kleine Mengen von Proteinstoffen, gewisse Salze und freien Sauerstoff enthält, so vermehren sie sich massenhaft und spalten gleichzeitig den Zucker (unter Wasseraufnahme) in Alkohol und Kohlendioxyd. Ersetzt man den freien Sauerstoff durch Blut, dessen rote Blutkörperchen Sauerstoff in lockerer Bindung enthalten, so entziehen die Hefepilze diesen den Sauerstoff, wodurch das Blut dunkelrot wird. Schüttelt man die Flüssigkeit mit Luft, so wird sie wieder hellrot, weil die Blutkörperchen Sauerstoff aufnehmen; bei ruhigem Stehen in abgeschlossenem Raum wird sie wieder dunkel und so fort. In Versuchen dieser Art hat man gefunden, dass 1 g frischer Hefe in einer Stunde bei einer Temperatur von 30—36° zwischen 2 und 10 cm^3 Sauerstoff zu absorbieren vermag. In diesem Falle beziehen also die Pilze den zu ihrem Leben erforderlichen Sauerstoff aus einer leicht reduzierbaren Verbindung, dem Oxyhämoglobin, ganz in der gleichen Weise wie die Zellen eines Wirbeltieres, welchen der Sauerstoff auch nur durch Vermittlung des Blutes zugänglich ist. Entzieht man den Hefepilzen aber allen Sauerstoff, so erleiden sie eingreifende innere Veränderungen ihrer chemischen Bestandteile, fahren aber fort, die Glukose in der Weise zu spalten, dass sie in Kohlendioxyd und Alkohol zerfällt. Man bezeichnet diese Kohlendioxydbildung als intramolekulare Oxydation,

---

[1]) Neben dem Kohlenstoff unterliegen auch die anderen in die Zusammensetzung der Protoplasmastoffe eingehenden Elemente, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor der Oxydation. Über die Endprodukte dieser Verbrennungen werden wir noch zu sprechen haben. Während aber bei dem Protoplasma im allgemeinen der Gehalt an Kohlenstoff und demgemäß auch die Menge des gebildeten Kohlendioxyds überwiegt, giebt es einige wenige Lebewesen, welche aus ihrer schwefelwasserstoffhaltigen Umgebung Schwefel in ihrem Protoplasma ablagern und diesen dann zu Schwefelsäure oxydieren. Man nennt sie deshalb Schwefelbakterien (*Beggiatoa*-Arten). In gleicher Weise lagern die Eisenbakterien, (z. B. *Crenothrix*, welche jedoch von manchen Autoren zu den Algen gezählt wird), aus dem im Wasser gelösten Eisenoxydul in ihren Scheiden Eisenoxyd ab. Die dadurch braungefärbten Fäden geben, wenn sie zahlreich in Brunnenwasser vorhanden sind, demselben ein tiefbraunes Ansehen. Zu den Schwefelbakterien gehört auch *Bacterium photometricum*, welches in seinen Schwärmbewegungen ausserordentlich von der Lichtintensität abhängig ist. Dieses enthält einen purpurroten Farbstoff, welcher wie alle Blattfarbstoffe im Licht Kohlendioxyd in Kohlenstoff und Sauerstoff spaltet. Vgl. Kap. 15 § 7.

oder intramolekulare, besser intracelluläre Atmung. Ähnliche Erscheinungen kommen auch bei Pflanzen und Tieren vor, deren Protoplasma ohne Zufuhr freien Sauerstoffes noch eine Zeit lang Kohlendioxyd zu bilden vermag.

Das Bedürfnis für freien Sauerstoff ist auch bei echten Aëroben sehr verschieden. Spaltpilze, welche größeres Sauerstoffbedürfnis haben, sammeln sich in einem mit einem Deckglase zugedekten Wassertropfen an den Rändern des Deckglases oder um eine zufällig im Wasser eingeschlossene Luftblase, weil an diesen Stellen die Sauerstofispannung am größten ist. Andere Spaltpilzformen dagegen bevorzugen die Orte mit geringerer Sauerstoffspannung; sie lagern sich unter dem Deckglas immer in einer gewissen Entfernung vom Rande. Bringt man einen mit einem Deckglas bedekten Wassertropfen mit solchen Pilzen in eine Gaskammer und vermindert die Sauerstoffspannung etwas durch Einleiten von Wasserstoff, so rücken die Bakterien dem Rande des Deckglases näher; vermehrt man dagegen die Spannung durch Einleiten von Sauerstoff, so ziehen sie sich mehr nach dem Innern des Tropfens zurück.



A B

Fig. 80.

Sauerstoffbedürfnis von Mikroben. *A*, in einem Wassertropfen befindet sich eine Algenzelle, welche bei Belichtuug Sauerstoff entwickelt, und verschiedene Mikroben. Die einen, welche sehr sauerstoffbedürftig sind, sammeln sich dicht um die Alge, während die andereu, weniger sauerstofibedürftigen, sich in einer solchen Region sammeln, wo die Sauerstoffspannung geringer ist. In *B* ist das gleiche Verhalten in der Umgebung einer im Wasser befindlichen Luftblase zu sehen.

Jedes dieser Wesen sucht also die ihm gerade passende Sauerstoffspannung auf. Gelingt es ihm nicht, diese zu erreichen, oder kann es überhaupt den Ort nicht wechseln, so wird es entweder an Mangel oder an Überschuss von freiem Sauerstoff zu Grunde gehen. Letzerer Fall trifft für die Sauerstoffspannung der atmosphärischen Luft nur bei echten Anaëroben ein. Tiere, welche in der Luft leben, können ohne Schaden auch in reinem Sauerstoff, also bei fünfmal größerer Sauerstoffspannung, ohne Schaden verweilen. Sie sollen dagegen in einer reinen Sauerstoffatmosphäre von mehr als zwei Atmosphären Druck schnell zu Grunde gehen. Gegen Sauerstoffmangel sind solche Tiere empfindlicher; Säugetiere sterben schnell, wenn die Sauerstofispannung der Luft etwa auf ein Drittel des normalen Wertes herabgesetzt ist. Dass auch aërobe Bakterien bei Sauerstoffabschluss noch lange am Leben bleiben, zeigt, dass ihr Sauerstoffbedürfnis gering ist, was bei ihrer winzigen Größe

nicht wunderbar erscheint. Aus alledem folgt, dass es für jedes Lebewesen eine untere und eine obere Grenze der O-spannung giebt, welche schädlich wirkt. Bei den Anaëroben liegt die obere Grenze sehr niedrig.

5. Höhere Pflanzen haben im allgemeinen ein sehr geringes Sauerstoffbedürfnis; doch bindet ihr Protoplasma auch, wie das aller übrigen Lebewesen, fortwährend Sauerstoff und erzeugt Kohlendioxyd.[1] 5. Atmung der Pflanzen.

Dass die sichtbaren Lebenserscheinungen des Pflanzenprotoplasmas an die Anwesenheit freien Sauerstoffes gebunden sind, kann man in ähnlicher Weise zeigen, wie wir es von Amöben erfahren haben. Bringt man die Staubhaare von Tradescantia in eine Gaskammer und verdrängt aus dieser allen Sauerstoff durch einen Strom von Wasserstoff, so hören die Protoplasmaströmungen in den Zellen auf.[2] Dauert die Sauerstoffentziehung nicht allzulang, so kehren die Bewegungen bei erneutem Zutritt von Sauerstoff wieder; bei längerer Dauer des Sauerstoffmangels erlöschen sie gänzlich; das Protoplasma ist dann abgestorben. Auch die mit bloßem Auge sichtbaren Bewegungen, welche bei manchen Pflanzen vorkommen, wie die der Fiederblättchen von Mimosen, hören bei Sauerstoffmangel auf, ebenso das Wachstum aller Gewebe und Organe; kurz, wir sehen, dass sich die Lebensthätigkeit des pflanzlichen Protoplasmas nicht anders verhält, als wir es bisher vom Protoplasma überhaupt erfahren haben.

Pflanzen atmen also wie Tiere; sie nehmen Sauerstoff auf und erzeugen mit Hilfe dieses Sauerstoffes aus den Bestandteilen des Protoplasmas Kohlendioxyd und andere Oxydationsprodukte. Die Aufnahme von Sauerstoff und Erzeugung von Kohlendioxyd durch Pflanzen kann man in ähnlicher Art nachweisen, wie dies auch für Tiere üblich ist.

Der Kolben *B* (Fig. 81 auf S. 364) ist mit Blüten oder jungen, frischen Hutpilzen (Morcheln) zu drei Vierteln gefüllt. Er wird umgestülpt und mit der Mündung seines sehr langen Halses nach unten in Quecksilber getaucht. Um die Pflanzenteile im Bauch des Kolbens zurückzuhalten, wird in den Hals ein Baumwollpfropf bis fast an sein unteres (beim Umkehren oberes) Ende hineingeschoben. Mittels eines

---

[1] Erschwert wird der Nachweis dieses allgemeinen Gesetzes durch den Umstand, dass in den Pflanzen auch der umgekehrte Prozess stattfinden kann, Aufnahme von Kohlendioxyd aus der Luft oder dem Wasser und Zerlegung desselben, wobei der Sauerstoff in Gasform austritt, der Kohlenstoff dagegen in Form komplizierter Verbindungen in der Pflanze abgelagert wird. Hiervon wird im folgenden Kapitel die Rede sein.

[2] Über die verschiedenen Bewegungen vgl. Kap. 18 und 19.

unten umgebogenen Glasrohrs, welches man durch das Quecksilber hindurch in den Kolbenhals einführt, saugt man etwas Luft aus dem Kolben heraus, so dass das Quecksilber im Hals etwa 1 cm höher steht als außerhalb desselben. Dann lässt man durch eine unten gekrümmte Pipette, welche man durch das Quecksilber hindurchführt, einige Kubikcentimeter starker Kalilauge in den Kolbenhals aufsteigen. Ein zweiter, dem ersten ganz gleicher Kolben wird ganz in derselben Weise beschickt, nur mit dem Unterschied, dass man keine Kalilauge in ihn bringt.

Fig. 81.

Produktion von Kohlendioxyd durch pflanzliche Gewebe. Der Glaskolben *B* ist mit (nicht grünen) Pflanzenteilen (Blüten oder Pilzen) bis *W* gefüllt und taucht mit seiner Mündung in Quecksilber, auf welchem etwas Kalilauge schwimmt. Die Pflanzen verbrauchen Sauerstoff, das produzierte Kohlendioxyd wird von der Lauge absorbiert; deshalb steigt das Quecksilber in dem Kolbenhals in die Höhe.

Nach Verlauf einiger Zeit wird man bemerken, dass das Quecksilber in dem ersten Kolben in die Höhe steigt. Das Steigen hält so lange an, bis das Volum der im Kolben enthaltenen Luft etwa auf vier Fünftel seiner ursprünglichen Größe vermindert ist.[1]) In dem anderen Kolben wird man keine nennenswerte Volumveränderung bemerken.

In beiden Kolben haben die in einem begrenzten Luftraum eingeschlossenen Pflanzen den vorhandenen Sauerstoff aufgenommen und ein nahezu gleiches Volum Kohlendioxyd erzeugt. Im Kolben *B* wurde das Kohlendioxyd von der Kalilauge absorbiert, das Volum nahm daher um ein Fünftel ab. Der Kolben enthält am Schluss des Versuches fast vollkommen reinen Stickstoff. Im anderen Kolben ist der Sauerstoff gleichfalls von den Pflanzen aufgenommen worden; da aber das an seine Stelle getretene Kohlendioxyd nicht entfernt wurde, blieb das Volum unverändert. Dass die in beiden Kolben ent-

[1]) Die Verminderung des Volums wird etwas geringer ausfallen, da die im Kolben zurückbleibende Luft durch Hebung der Quecksilbersäule unter einen verminderten Druck gesetzt wird.

haltene Luft keinen Sauerstoff mehr enthält, kann man durch einen einfachen Versuch zeigen. Man verschließt die Mündung des Kolbens unter Quecksilber mit dem Daumen, hebt ihn verschlossen heraus und führt, nachdem man ihn umgekehrt hat, eine an einem Draht befestigte brennende Kerze in ihn ein. Dieselbe erlischt sofort, da der zum Brennen notwendige Sauerstoff fehlt.

Statt der Morcheln oder Blüten hätte man zu diesem Versuch auch andere ungefärbte Teile verschiedener Pflanzen, z. B. fleischige Wurzeln, nehmen können, dagegen nicht grüne Pflanzenteile, denn bei diesen verläuft der Vorgang aus den oben angedeuteten und später genauer zu besprechenden Gründen komplizierter.

6. Selbst bei den größten Pflanzen finden sich zur Unterhaltung des Gasaustausches und zur Bewegung von Flüssigkeiten innerhalb des Körpers keine besonderen treibenden oder bewegenden Organe, wohl aber Systeme von den ganzen Körper durchziehenden Röhren für die Bewegung der Flüssigkeiten, während die Gase sich teils in Röhren, teils in den unregelmäßigen Spalträumen zwischen den Gewebselementen bewegen. Die Bewegungen werden zum Teil durch Diffusion, zum Teil durch andere, später zu erwähnende Ursachen unterhalten. Bei Tieren dagegen sind Bewegungsorgane, entweder nur für die Flüssigkeiten oder neben diesen auch für Gase, sehr verbreitet. Bei Tieren, welche im Wasser leben, wird der Gasstoffwechsel durch Vermittlung der im Wasser absorbierten Gase bestritten; deshalb bedarf es besonderer Organe für die Bewegung des Wassers. Doch giebt es auch im Wasser lebende Tiere, welche von Zeit zu Zeit an die Oberfläche kommen und in ähnlicher Weise wie Lufttiere Gase aufnehmen und abgeben. 6. Atmungsorgane.

Wir nennen die der Aufnahme und Abgabe gasförmiger Stoffe dienenden Einrichtungen Atmungsorgane oder Atmungswerkzeuge. Ihre Funktion wird wesentlich unterstützt durch die Einrichtungen für die Bewegung von Flüssigkeiten oder Säften, welche den aufgenommenen Sauerstoff an alle Stellen des Verbrauches verteilen und das in den Geweben entstehende Kohlendioxyd an die Ausscheidungsstellen bringen. Bei höheren Tieren dient dazu das Blut. Obgleich dasselbe gleichzeitig auch der Aufnahme und Abgabe anderer Stoffe dient, sind seine Bewegungseinrichtungen doch vorzugsweise durch die Anordnung der Atmungsorgane bedingt und denselben angepasst. Ohne uns allzusehr auf Einzelheiten einzulassen, wollen wir im folgenden die hauptsächlichsten Typen der Einrichtung der Atmungsorgane und der mit ihr zusammenhängenden Zirkulation des Blutes kurz beschreiben.

Der Atmung dienen bei den niedersten Lebewesen auch die schon früher (Kap. 13 § 6) erwähnten Nahrungsvakuolen. Indem

sie mit Nahrungsstoffen und Sauerstoff beladenes Wasser bei ihrem allmählichen Fortschreiten durch das Protoplasma befördern, vermitteln sie die Abgabe und Aufnahme aller diffusiblen Stoffe, also auch der Gase. Größerer Leistungen fähig ist das schon besprochene Gastrovaskularsystem mit seiner durch Geißeln bewirkten, zuweilen auch durch muskuläre Kontraktionen unterstützten Wasserbewegung. Von speziell der Atmung dienenden, eigentlichen Respirationsorganen unterscheidet man drei Formen: Lungen, Kiemen, Tracheen. Zwischen letzteren und den beiden ersteren stehen Übergangsformen, welche als Tracheenkiemen und Tracheenlungen bezeichnet werden. Lungen und Tracheen dienen der Aufnahme und Abgabe von Gasen in freier Gasform, Kiemen der Aufnahme und Abgabe von absorbierten Gasen. Letztere kommen deshalb bei Tieren vor, welche dauernd im Wasser leben oder doch dasselbe nur vorübergehend zu verlassen pflegen, Tracheen und Lungen kommen den eigentlichen Landtieren zu.[1]) Bei manchen Tieren bestehen Lungen und Kiemen vorübergehend (seltener dauernd) gleichzeitig nebeneinander.

7. Lungen. 7. Eine Lunge in ihrer einfachsten Form ist ein dünnwandiges elastisches Säckchen, eine Ausstülpung des Ernährungsschlauches, nahe dem oralen Ende desselben, welches mit diesem und dadurch auch mit der Außenwelt in Verbindung steht. Meist ist das Säckchen paarig vorhanden, dann teilt sich der die Lungen mit dem Nahrungsschlauch verbindende Gang in zwei Äste, einen rechten und einen linken Bronchus. Auf der Außenfläche des Säckchens verzweigen sich Blutgefäße, bilden dichte Kapillarnetze und gehen in eine oder mehrere Venen über, welche das Blut, nachdem es Sauerstoff aufgenommen und Kohlendioxyd abgegeben hat, wieder fortleiten. Das in den Kapillaren fließende Blut kann durch die zarten Wandungen hindurch mit der innerhalb des Säckchens befindlichen Luft in Diffusionsaustausch treten.

Die Intensität des Gasaustausches wird gesteigert durch Vergrößerung der Berührungsfläche zwischen Blut und Luft und durch Einrichtungen, welche einen Austausch der Luft in dem Säckchen und der Außenluft bewirken. Dem ersteren Zwecke dienen nach innen vorspringende Leisten, durch welche die Oberfläche des Säckchens vergrößert wird, so dass eine größere Zahl von Kapillaren auf der Oberfläche Platz finden. Dabei kommen zugleich die in den Leisten gelegenen Kapillaren von zwei Seiten her mit der Luft in Berührung. Diesen Zustand der Entwicklung zeigen z. B. die Lungen des

[1]) Ausnahmen hiervon sind oben (§ 6) erwähnt worden.

Frosches. Geht die Teilung noch weiter, so wird durch die vorspringenden Leisten der Sack in eine sehr große Zahl von kleinen Säckchen, Alveolen, zerlegt, welche durch vielfach verzweigte Röhren mit je einem Bronchus zusammenhängen. Als Beispiel für eine solche zusammengesetzte Lunge, wie sie bei höheren Tieren vorkommt, möge die im Kap. 11 § 9 für das Kaninchen gegebene Beschreibung dienen. Ebenda haben wir auch schon gesehen, wie durch die luftdichte Einfügung der elastischen Lunge in den Thorax bei jeder Erweiterung des letzteren auch die ersteren erweitert und dadurch atmosphärische Luft in sie eingesogen wird (Inspiration), bei jeder Verengerung des Thorax dagegen auch die Alveolen sich verkleinern und einen Teil der in ihnen enthaltenen Luft austreiben (Exspiration). Dadurch wird die in den Alveolen befindliche Luft mit der Luft der Umgebung vermischt und in ihrem Sauerstoff- und Kohlendioxydgehalt stets auf einer mittleren Höhe erhalten, so dass die Aufnahme von Sauerstoff in das Blut und die Ausscheidung von Kohlendioxyd aus dem Blut dauernd vor sich gehen kann.

Fig. 82. Lungen von Chamaeleo monachus. Das Netzwerk stellt die Blutgefäße dar, welche sich in den nach innen vorspringenden Leisten verbreiten.

Nicht bei allen Lungentieren erfolgt die Lüftung der Lungen auf gleiche Weise. Bei dem Frosch z. B. wird die atmosphärische Luft nicht in die Lungen eingesogen, sondern durch Zusammenziehung der Kehlmuskeln eingepresst, nachdem durch Schließen des Maules und der Nasenlöcher das Entweichen nach außen verhindert ist. Der Verschluss der Nasenlöcher erfolgt dabei durch kleine Knorpelplatten, welche durch einen sehr künstlichen Mechanismus von innen her gegen die Nasenöffnungen angelegt werden. Ausgepresst wird die Luft aus den Lungen durch Kontraktion der Bauchmuskeln.[1]) Ähnlich sind die Lungen der Reptilien, von denen Fig. 82 ein Beispiel zeigt. Sie sind längliche Säcke; ihr oraler Abschnitt ist durch vorspringende Leisten in Zellen abgeteilt, ihr aborales Ende fast ganz glatt. Das Einpressen von Luft in die Lungensäcke erfolgt durch die Kontraktion der Halsmuskeln. Bei den Vögeln endlich sind die Lungen im wesentlichen wie bei den Säugetieren gebaut und zeigen nur Unterschiede in der Anordnung der Bron-

[1]) Da der Frosch kein Zwerchfell besitzt, Brust- und Bauchhöhle also nicht geschieden sind, kann die Kontraktion der Bauchmuskeln unmittelbar auf die in der gemeinschaftlichen Brust- und Bauchhöhle liegenden Lungen wirken.

chen. Während bei den Säugetieren die Bronchen sich baumförmig in immer feinere und feinere Röhrchen verzweigen, an deren feinsten die Alveolen hängen, entspringen bei den Vögeln aus den Hauptbronchen mehrere große Äste, welche die Lungen durchziehen, deren Oberfläche durchbohren und mit den Lufträumen der Knochen und der Luftsäcke zusammenhängen[1]). Von jenen großen Röhren gehen kleinere ab, auf denen die Alveolen seitlich aufsitzen. Die Lungen der Vögel sind an der dorsalen Seite mit dem Thorax verwachsen und werden, wie bei den Säugetieren, durch die Atembewegungen des letzteren passiv erweitert und verengert. Das Zwerchfell, welches bei den Säugetieren, den Thorax in der Richtung vom oralen zum aboralen Pol vergrössert, ist bei den Vögeln nur rudimentär entwickelt; aber das Sternum kann sehr beträchtlich von der Wirbelsäule entfernt werden und kann deshalb eine erhebliche Vergrößerung des dorso-ventralen Durchmessers bewirken.

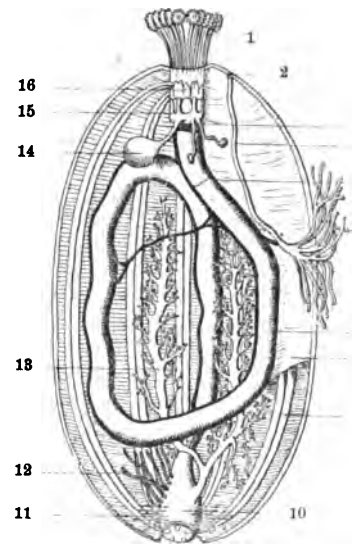


Fig. 83.

Holothurie, aufgeschnitten und auseinander geklappt. 1 Tentakeln; 2 Mündung der Geschlechtsorgane; 3 Blutgefäße; 4 Steinkanal; 5 Darmgefäß; 6 Geschlechtsorgane; 7 Darm; 8 Mesenterium; 9 Muskeln; 10 Kloake; 11 Muskeln; 13 Wasserlunge mit ihren Anhängen (12); 14 Poli'sche Blase; 15 Kiemengefäße; 16 Kalkring. 2)

Eine Mittelstellung zwischen Lungen und Kiemen nehmen die Wasserlungen der Holothurien ein, lange, mit blind endigenden Verzweigungen besetzte häutige Säcke, welche mit einem kurzen Endrohr in das aborale Ende des Darmschlauches (die Kloake) einmünden. Sie sind äußerlich mit Blutgefäßen umsponnen und im Innern mit Wasser gefüllt, welches durch pumpende Bewegungen von Zeit zu Zeit er-

[1]) Während sonst die Knochen in ihrem Innern einen mit Knochenmark gefüllten Hohlraum enthalten, ist dieser bei den Vögeln an den meisten oder an allen Knochen mit Luft gefüllt. Die Luftsäcke sind ausgedehnte, unter der Haut, zwischen den Muskeln und in der Bauchhöhle liegende, von derben Membranen begrenzte Lufträume. Hierdurch erhält der Vogel ein geringes spezifisches Gewicht, was beim Fliegen von Nutzen ist, während die ausgedehnten Lufträume zugleich einen großen Vorrat von Sauerstoff enthalten und so auch bei zeitweisem Stillstand der Atembewegungen den Gasaustausch mit dem Blut ermöglichen.

[2]) Vgl. das in Kap. 18 über den Bau der den Holothurien nahestehenden Seesterne Gesagte.

neuert wird. Man könnte sie als innere Kiemen bezeichnen. Eigentliche Kiemen, wie sie sonst bei Wassertieren gefunden werden, unterscheiden sich von Lungen gerade dadurch, dass letztere im Innern des Körpers gelegene, mehr oder weniger gefaltete Hohlräume sind, in welche die Luft eintritt, während die Kiemen an ihren Außenflächen vom Wasser, in dem das Tier lebt, umspült werden. Der Gasaustausch findet zwischen den im Blut und den im Wasser absorbierten Gasen statt. Dass auch dieser Vorgang durch Vergrößerung der Oberfläche befördert wird, ist einleuchtend. Dementsprechend finden wir, dass Kiemen meistens die Formen von Fäden, Büscheln, dünnen Blättern u. dgl. zeigen, welche in kleinem Raume eine große Oberflächenentfaltung ermöglichen.

Die Kiemen hängen entweder frei in das umgebende Wasser hinein oder liegen in einer eigenen Kiemenhöhle, in welcher das Wasser in strömender Bewegung erhalten wird (vergl. Fig. 84). Auf diese Weise wird durch fortwährende Erneuerung des die

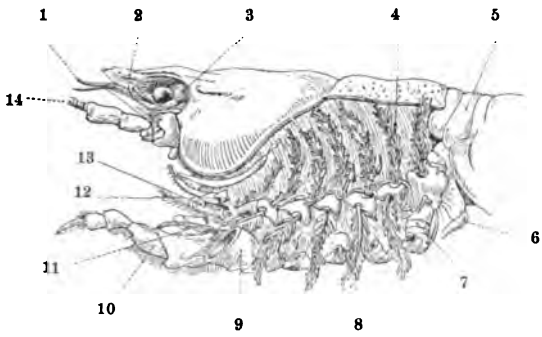


Fig. 84.

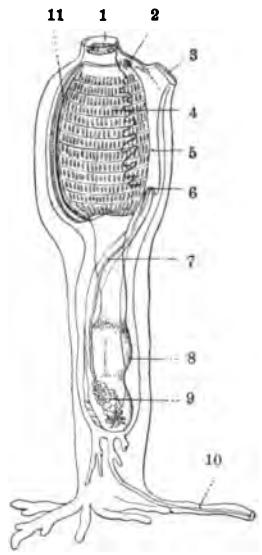


Fig. 85.

Fig. 84. Kiemen des Krebses. Der Kiemendeckel, Füße und Scheeren sind abgeschnitten, die äußeren Kiemen nach unten gezogen. 1 kleine Antennen; 2 Rostrum; 3 Augenstiel mit Auge; 4 obere, 8 äußere Kiemen; 5 erster Abdominalring; 6 Anhang desselben; 7 vierter Gehfuß; 9 Scheere; 10, 11, 12 Kieferfüße; 13 Kiefer; 14 große Antenne.

Fig. 85. Kiemengerüst einer Ascidie (Clavellina lepadiformis). 1 Mundöffnung; 2 Ganglion; 3 Auswurfsöffnung; 4 Kieme; 5 Kloakenraum; 6 After; 7 Geschlechtsgang; 8 Magendarm; 9 Geschlechtsdrüsen; 10 Haftfortsätze; 11 Endostyl.

Kiemen umspülenden Wassers die Spannungsdifferenz des Sauerstoffs und des Kohlendioxyds zwischen dem Blute des Tieres und dem Wasser dauernd auf einer genügenden Höhe erhalten.[1])

[1]) Auf eine genauere Beschreibung der Einrichtungen für die Wasser-

Ganz in einen großen Kiemenapparat verwandelt ist der Anfangsteil des Darms der Tunicaten. Er stellt ein korbartiges Gerüst dar, durch welches das durch den Mund aufgenommene Wasser in einen den Kiemenapparat konzentrisch umgebenden Raum strömt. Aus diesem entweicht es durch eine Röhre, deren Ausgangsöffnung neben der Mundöffnung liegt, während die Nahrung, eingehüllt in vom Endostyl abgesonderten Schleim, in einen aus dem Kiemenrohre an dessen unterem Ende entspringenden Darmkanal gelangt (vgl. Fig. 85, S. 369).

Ist die Kiemenhöhle geräumig genug, um eine größere Wassermenge aufzunehmen, und kann diese durch Verschluss mittelst der Kiemendeckel in der Kiemenhöhle zurückgehalten werden, so wird dadurch dem Tier die Möglichkeit gewährt, zeitweise auch außerhalb des Wassers zu leben, wie es von Krebsen bekannt ist. Das Gleiche gilt vom Kletterfisch, *Anabas scandens*, der in Flüssen und Seen Indiens lebt und beim Austrocknen des Wassers über Land nach anderen Wasserbecken wandert; er soll mehrere Tage außerhalb des Wassers am Leben bleiben können.

Während die Lungen der Wirbeltiere Ausstülpungen des Darmrohrs sind, entstehen die Kiemen bei den Wirbellosen als Anhänge oder Ausstülpungen der äußeren Haut.[1]) Sie können an den verschiedensten Stellen des Tierleibes vorhanden sein, z. B. (bei Dekapoden) an den Extremitäten, wo die Bewegungen derselben oder die benachbarter Glieder durch Erzeugung der für die Erneuerung des umgebenden Wassers erforderlichen Strömung nützlich werden. In manchen Fällen ist die ganze Extremität in eine Kieme umgewandelt, dient nicht mehr der Bewegung, sondern nur noch der Atmung. Zuweilen liegen auch diese Kiemen in einer eigenen Kiemenhöhle, welche Wasser zurückhalten kann für den Aufenthalt in der Luft, wie es Fig. 84 vom Flusskrebs darstellt. Die Kiemenhöhle ist nur am vorderen Rand offen. Der Spalt kann durch einen Teil der davor liegenden Extremität geschlossen werden, welche zugleich durch ihre Bewegungen wie ein Pumpwerk Strömungen des Wassers in und aus der Kiemenhöhle unterhält.

Kiemen, welche sich ganz der Luftatmung angepasst haben, nennt man Kiemenlungen. Sie liegen in geräumigen, durch Öffnungen oder Röhren mit der Außenluft zusammenhängenden Hohlräumen, in welchen die Luft stets mit Wasserdampf gesättigt bleibt,

---

bewegung können wir nicht eingehen, sondern müssen dieserhalb auf die spezielle Physiologie der betreffenden Tiere verweisen.

[1]) Auch die Kiemen der Fische sind Ausstülpungen des Darmrohres, nur bei den gleich zu erwähnenden Dipnoern unter den Fischen (welche neben den Kiemen auch Lungen haben) und bei den meisten Amphibien sind die Kiemen Anhänge der äußeren Haut.

so dass der Gasaustausch ungehindert stattfinden kann. Kiemenlungen kommen bei Tieren vor, welche nicht im Wasser, sondern in feuchter Luft leben, wie z. B. manche Asseln. Die Kiemenlunge von *Birgus latro*, einem dauernd auf dem Lande lebenden Dekapoden, ist eine geräumige, mit einer Membran ausgekleidete Atemhöhle, auf welcher eine Anzahl von Kiemenbüscheln stehen; diese unterhalten den Gasaustausch zwischen den Flüssigkeiten des Tieres und der feuchten, in der Atemhöhle enthalteneu Luft. Auch bei den Lungenschnecken ist die Kieme vollständig zu einer Art von Lunge umgewandelt; die Wandung der ursprünglichen Kiemenhöhle ist von einer mit engmaschigen Blutgefäßen durchflochtenen Haut bekleidet, welche die Atmung besorgt. Deshalb müssen auch die im Wasser lebenden Lungenschnecken von Zeit zu Zeit an die Oberfläche kommen, um dort frische Luft in ihre Atemhöhle aufzunehmen.

Es wurde schon erwähnt, dass manche Wirbeltiere (nämlich die Amphibien) im Larvenzustand, in welchem sie ganz auf das Leben im Wasser angewiesen sind, mit Kiemen, später aber, nachdem sie die Kiemen verloren haben, wie Landtiere mit Lungen atmen. Zuweilen bleiben die Kiemen noch neben den Lungen funktionsfähig. Bei den Perennibranchiaten, z. B. Proteus anguineus, welcher in den Grotten des Karstgebirges lebt, bleiben die Lungen rudimentär. Bei den Tritonen bleiben die Kiemen erhalten, wenn die Larven verhindert sind das Wasser zu verlassen. Während des ganzen Lebens haben sowohl Kiemen wie Lungen die Dipnoer, welche man wegen ihrer Gestalt und ihres Baues zu den Fischen rechnet, die sich aber eben durch den Besitz von Lungen von allen anderen Fischen unterscheiden. Wenn die Flüsse und Sümpfe, in denen diese Tiere leben, austrocknen, so vergraben sich die Tiere im Schlamme und atmen mit ihren sackartigen Lungen, welche durch einen kurzen Verbindungsgang mit dem Schlund zusammenhängen.

9. Tracheen.

9. Für Luftatmung eingerichtet sind die Tracheen. Sie kommen namentlich bei Insekten, Spinnen und einigen anderen Klassen der Arthropoden vor, welche man deshalb von den anderen Arthropoden unter dem Namen der Tracheaten abtrennt. Tracheen sind verzweigte Röhren, welche an der Oberfläche des Körpers mit einer Öffnung, dem Stigma, beginnen und zuletzt in äußerst feine, die Gewebe durchziehende Röhrchen auslaufen. So kann die in die Röhre eindringende atmosphärische Luft mit den Gewebsbestandteilen direkt, d. h. ohne die Vermittlung durch das Blut, in Gasaustausch treten. Die Röhren sind mit Epithel ausgekleidet, welches eine feste chitinhaltige Cuticula ausscheidet. Eine spiralig verlaufende Verdickungsleiste der Cuticula bewirkt, dass die Röhre, ohne ihre

Biegsamkeit zu verlieren, durch äußeren Druck, bei Krümmungen und Einrollungen des Tieres, nicht zusammengedrückt wird, ähnlich wie Gummischläuche durch eine eingelegte Drahtspirale vor dem Zusammengedrücktwerden geschützt sind und doch biegsam bleiben. Bei manchen Gliedertieren hat fast jeder Leibesring je zwei Tracheen, jede mit einem Stigma rechts und links; öfter versorgt aber auch eine Trachee mehrere benachbarte Ringe. Bei anderen bestehen

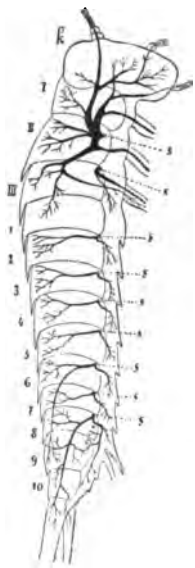


Fig. 86.

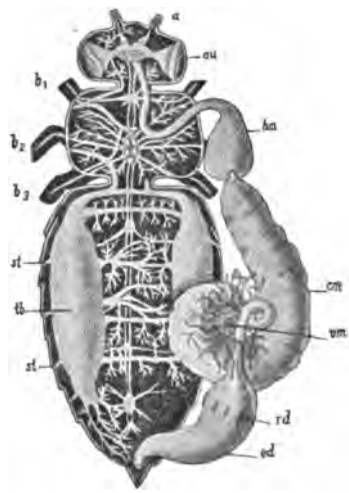


Fig. 87.

Fig. 86. Tracheen von Machilis maritima, *s* die Stigmen; *k* Kopf; I—IV Thoracal-, 1—10 Abdominalsegmente.

Fig. 87. Tracheensäcke und Tracheen der Honigbiene. *st* die Stigmen; *th* die Tracheensäcke, von denen die Tracheen abgehen. Unter diesen sieht man das Nervensystem. *a* Antennen, b_1, b_2, b_3 die Beine; *au* Augen; *hm-ed* der Darmkanal.

der Länge nach verlaufende Röhren oder große Tracheenblasen mit wenigen Stigmen, von denen die einzelnen, die Leibessubstanz durchsetzenden Tracheen abgehen. Vgl. Fig. 87. Die Erneuerung der Luft in den Tracheen erfolgt nur unvollkommen durch die Bewegungen der Körperteile und ist zum größten Teil auf Diffusion angewiesen.

Bei manchen im Wasser lebenden Insektenlarven (Libellen u. a.) finden sich die Tracheenkiemen. Von einem Längskanal gehen einerseits blattartige, von Tracheenverzweigungen durchsetzte Anhänge aus, welche in das Wasser hineinragen, andererseits feine, sich ver-

ästelnde Tracheenbüschel in die Gewebe. Die ersteren nehmen aus dem Wasser durch die in ihnen sich verzweigenden Röhrchen Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd an dasselbe ab, während in den anderen der umgekehrte Vorgang stattfindet. Als Tracheenlungen bezeichnet man große bei Arachniden vorkommende, mit der Außenluft durch große Stigmen zusammenhängende Höhlen, in deren Innern zahlreiche, wie die Blätter eines Buches nebeneinander stehende, dünne, hohle Plättchen mit ihrer großen Oberfläche den Gasaustausch vermitteln.

10. Aus dem bisher Gesagten geht hervor, dass für die zur Erhaltung des Lebensprozesses unbedingt erforderliche Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd bei den kleinen im Wasser oder in feuchter Luft lebenden Einzellern die Diffusion an der

10. Haut- und Darmatmung.

Fig. 88.

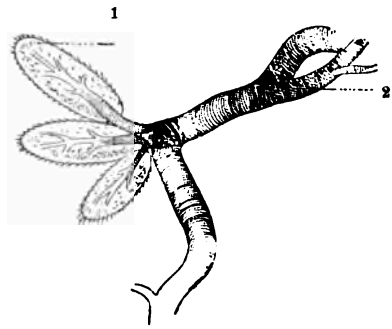


Fig. 89.

Fig. 88. Larve von Ephemera vulgata, Eintagsfliege; lebt in Wasser und atmet durch die in dasselbe hineinhängenden Tracheenkiemen.

Fig. 89. Tracheenkiemen von Nemura lateralis. Die blattartigen Tracheenkiemen (1) hängen im Wasser, während die luftführenden verzweigten Tracheenröhren (2) im Innern des Insektenkörpers verlaufen.

Körperoberfläche genügt, zuweilen unterstützt durch die Wanderung kleiner Wasserbläschen innerhalb des Protoplasmas. Ist die Masse des Lebewesens größer, so kann dennoch jede Zelle in gleicher Weise atmen, wenn der Leib von zahlreichen Röhren durchzogen ist, von denen die einen mit strömendem Wasser erfüllt sind, während die anderen Luft enthalten, welche mit der Außenluft kommuniziert. So beschaffen sind die Atemeinrichtungen bei den Pflanzen. Bei den Metazoen der einfachsten Form, deren Leib die Form der Gastrula hat, ist schon dadurch eine bedeutende Flächenvergrößerung gegeben, dass sowohl die Innenfläche der Leibeshöhle wie die Außenfläche

der Atmung dienen kann. Die innere Fläche kann durch Faltung noch erheblich vergrößert werden (Gastrovaskularsystem, § 3), oder aber bestimmte Stellen der Innen- oder der Außenfläche erlangen in besonderem Maße die Eigenschaft, der Atmung zu dienen (Lungen, Kiemen). In anderen Fällen wieder ist der ganze Körper mit einem System feiner, verzweigter, mit der Außenluft zusammenhängender Röhren durchzogen (Tracheen). Aber selbst da, wo diese eigentlichen Atemorgane auf das vollkommenste ausgebildet sind, verlieren die übrigen Teile, der hauptsächlich dem Stoffaustausch dienende Darm, sowie die äußere Haut, durchaus nicht ganz die Fähigkeit, auch ihrerseits dem Gasaustausch zu dienen. Neben der Lungen-, Kiemen- und Tracheenatmung ist fast überall auch noch der Darm und die äußere Haut in größerem oder geringerem Maße an der Atmung beteiligt. Nur wo die letztere durch Wasserarmut, Verhornung oder dichte Chitineinlagerung sehr wenig oder gar nicht mehr für Gase durchgängig ist, wird ihr Anteil an der Gesamtatmung sehr gering, und die eigentlichen Atmungsorgane müssen die Hauptarbeit leisten. So ist es fast ganz bei den Säugetieren, noch mehr bei den Dekapoden u. a. Wo dagegen die Haut sehr wasserreich und nur von zartem, leicht durchgängigem Epithel bedeckt ist, trägt sie noch viel zur Atmung bei. So beim Frosch, dessen einfache Lungen einen verhältnismäßig geringen Anteil an der Gesamtatmung haben. Neben ihnen besorgt die blut- und wasserreiche äußere Haut sowie die Schleimhaut der Mund- und Rachenhöhle die Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd in beträchtlichem Maße. Man kann daher einem Frosche die Lungen herausschneiden, ohne dass ihm das erheblich schadet, während er die Bedeckung seiner Haut mit einem für Gase schwer oder gar nicht durchdringlichen Überzug nicht verträgt. Stark beteiligt an der Atmung ist der Darm beim Schlammpeitzker, *Cobitis fossilis*, einem in den Gewässern Ost- und Mitteleuropas lebenden Fisch aus der Familie der Cypriniden, welcher nur schwach entwickelte Kiemen besitzt. Bei ihm ist die Darmatmung verhältnismäßig stark und für die Erhaltung des Lebens notwendig. Der Fisch steigt von Zeit zu Zeit an die Oberfläche, nimmt Luft in seinen Darmkanal auf und lässt sie später in Blasen aus dem After entweichen. Diese Luft ist arm an Sauerstoff und reich an Kohlendioxyd. Sie hat also während ihres Aufenthalts im Darm die gleichen Veränderungen erfahren wie sonst in den Lungen.[1])

[1]) Darmatmung besteht in geringem Grade bei allen höheren Tieren, auch beim Menschen, indem die mit den Speisen verschluckte Luft ihren Sauerstoff an das in den Darmwänden kreisende Blut abgiebt. Daneben entstehen im

Bei Fischen (mit Ausnahme der Haie und einiger weniger Knochenfische) findet sich die Schwimmblase, ein aus dem vorderen Darmende ausgestülpter häutiger, mit Luft gefüllter Sack, welcher bei einigen Fischen noch mit dem Schlundrohr kommunizirt, während bei den meisten der Verbindungsgang geschlossen ist. Die Schwimmblase ist die eigentliche Grundform der Lunge und dient als solche auch bei den oben (§ 8) erwähnten Dipnoern. Die Lungen der Wirbeltiere haben sich aus der Schwimmblase entwickelt. Bei den mit Kiemen atmenden Fischen aber dient sie nicht mehr der Atmung, kann dies ja auch gar nicht, wenn sie vollkommen geschlossen ist. Wenn der Fisch durch seine Muskeln die in der Schwimmblase eingeschlossene Luft komprimiert, nimmt sein Volum etwas ab, sein spezifisches Gewicht nimmt zu, und er sinkt im Wasser.[1]) Die Schwimmblase ist also zu einem statischen Organ geworden. Man nennt diese Erscheinung Funktionswechsel. Als solcher ist auch die früher (§ 8) bei Dekapoden erwähnte Umwandlung von Extremitäten zu Kiemen anzusehen.

11. Rolle des Bluts bei der Atmung.

11. An den Tracheenkiemen ist sehr deutlich die Trennung zweier wichtiger voneinander verschiedener, einander ergänzender Seiten des Atmungsprozesses zu erkennen: Die Aufnahme von Sauerstoff aus der Umgebung und die Abgabe von Kohlendioxyd an dieselbe auf der einen Seite und die Abgabe von Sauerstoff an die Gewebe und Aufnahme von Kohlendioxyd aus denselben auf der anderen. Man nennt den ersteren Vorgang äußere, den zweiten innere Atmung. Bei den einfacheren Verhältnissen der Einzeller und da, wo die Atmung nur durch die Oberflächen der Leibeshöhle und der äußeren Haut (durch das Entoderm und Ektoderm) erfolgt, fallen beide Prozesse örtlich zusammen. Ebenso bei den im ganzen Körper sich verzweigenden Tracheen. Sobald aber der Atmungsvorgang im wesentlichen auf ein bestimmtes Organ (Lunge oder Kieme) lokalisiert ist, würde der an diesen Stellen aufgenommene Sauerstoff nicht in genügender Menge zu den Geweben gelangen, das in diesen gebildete Kohlendioxyd würde nicht schnell genug zu den Ausscheidungsorganen befördert werden, wenn nicht ein Vermittler zwischen der äußeren und inneren Atmung vorhanden wäre. Dieser

---

Darm auch allerlei Gase durch Zersetzung des Darminhaltes. Dies hat mit der eigentlichen Atmung nichts zu thun.

[1]) Deshalb steigen tote Fische, bei denen der Druck auf die Schwimmblase fehlt, an die Oberfläche. Man sieht, dass dann ihr spezifisches Gewicht um ein Geringes kleiner ist als das des Wassers. Bei Fischen, welche in großer Wassertiefe leben, steht die Luft der Schwimmblase unter einem sehr hohen Druck. Werden die Fische an die Oberfläche gebracht, so dehnt sich die Luft bedeutend aus und treibt den Leib trommelartig auf oder drängt sogar die Eingeweide durch den Mund nach außen.

Vermittler ist bei allen Wirbeltieren und den höheren Wirbellosen das Blut. Es wird dazu besonders befähigt durch seinen Gehalt an Hämoglobin, welches die Eigenschaft besitzt, Sauerstoff locker zu binden und ihn an die Gewebe wieder abzugeben (vgl. Kap. 11 § 5). Dazu ist es aber notwendig, dass das Blut in fortwährender Bewegung erhalten wird. Daher ist der Kreislauf des Blutes um so vollkommener dieser Funktion angepasst, je lebhafter das Atembedürfnis ist und je mehr der Hauptanteil der Atmung von der Haut und dem Darm auf die Kiemen oder Lungen übergegangen ist. Dementsprechend finden wir auch, dass bei Vögeln und Säugetieren das gesamte Blut bei jedem Umlauf ganz und gar durch die Lungen fließt, während bei den niederen Wirbeltieren nur ein Bruchteil desselben die Atmungsorgane passiert.

Bei den höheren Tieren bewegt sich das Blut in vollkommen geschlossenen Bahnen, den Blutgefäßen. Die dazu erforderliche Arbeit wird vom Herzen geleistet. Zu dem, was hierüber im Kap. 11 gesagt worden ist, sollen hier noch einige, die abweichenden Einrichtungen bei verschiedenen Tieren berücksichtigende Ergänzungen gegeben werden. Die Bewegung des Blutes dient nicht der Atmung allein. Sie vermittelt auch die Aufnahme von Nahrungsstoffen aus dem Darmschlauch und die Ausscheidung der in den Geweben neben dem Kohlendioxyd entstehenden Stoffwechselprodukte. Handelt es sich bei der Atmung um Aufnahme und Abgabe gasförmiger Stoffe, so haben wir es bei der Ernährung und Ausscheidung mit festen, in den Körpersäften gelösten Stoffen zu thun. Allen diesen Verrichtungen ist das Gefäßsystem bei verschiedenen Tieren auf mannigfache Weise angepasst. Die entsprechenden Vorgänge bei Pflanzen, bei welchen etwas dem Blut und seiner Cirkulation Analoges nicht besteht, werden wir später besprechen.

Die im elften Kapitel gegebene Beschreibung des Herzens und der Gefäße passt für alle Säugetiere und die Vögel. Aber schon bei Reptilien treten Abweichungen im Bau des Herzens auf; das rechte und das linke Herz sind nur unvollständig voneinander geschieden. Bei den Amphibien besteht überhaupt nur eine gemeinschaftliche Herzkammer, dagegen zwei getrennte Vorkammern; bei den Fischen endlich besteht das Herz nur aus einer Kammer und einer Vorkammer, an welche sich noch ein bei den höheren Wirbeltieren nur andeutungsweise vorhandener Teil, der *Sinus venosus*, in den die Venen einmünden, anschließt. Die wirbellosen Tiere haben überhaupt kein ganz geschlossenes Gefäßsystem; das Blut bewegt sich zum Teil in wandungslosen Räumen zwischen den Organen, denen es Sauerstoff und Nahrungsbestandteile zuführt, und aus denen es Kohlendioxyd und andere Produkte der Oxydation

aufnimmt. Bei allen Wirbeltieren wird die Bewegung des Blutes dadurch bewirkt, dass die von muskulösen Wandungen umschlossenen Abteilungen des Herzens in regelmäßigen Intervallen sich abwechselnd verengern und wieder erweitern. Durch den Druck der Muskelkontraktion bei der Verengerung wird das Blut aus dem Herzen ausgepresst, bei dem Nachlass der Kontraktion fließt es wieder in die betreffende Herzabteilung ein.[1]) Dagegen finden sich bei vielen niederen Tieren an Stelle der muskulösen Herzen schlauchartige Erweiterungen der Gefäßbahn, welche durch von außen an sie herantretende Muskeln ausgedehnt werden; das sie umspülende, in wandungslosen Hohlräumen befindliche Blut wird durch Spalten der Schlauchwand in den Schlauch eingesogen. Von den Spalträndern nach innen ragende Klappen sorgen dafür, dass es beim Nachlassen des Muskelzugs nicht wieder heraustreten kann. Ein fast ganz geschlossenes Gefäßsystem findet sich bei den höher organisierten Wirbellosen, von denen wir als Beispiel dasjenige eines Hummers (Fig. 90) abbilden. Das muskulöse Herz liegt innerhalb eines mit Blut erfüllten Hohlraums, des Perikardialsinus, aus welchem das Blut bei Erweiterung des Herzens durch Spaltöffnungen in dieses eingesogen wird. Durch Verengerung des Herzens wird es durch Arterien im Körper verteilt, tritt dann in wandungslose Hohlräume (Blutsinus) über. Einer dieser Sinus, welcher sich an der Abdominalseite befindet, giebt Zweige ab, die das Blut zu den Kiemen führen, aus denen es durch geschlossene Gefäße (Kiemenvenen) zum Perikardialsinus zurückkehrt.

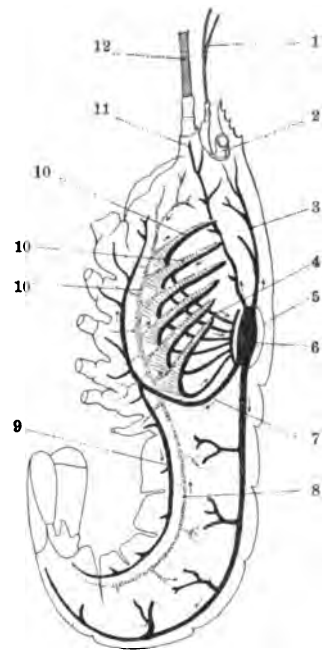


Fig. 90

Kreislauf des Hummers. Aus dem Herzen strömt das Blut in die Arterien, ergießt sich in den großen Blutsinus des Abdomens, fließt aus diesem zu den Kiemen und von da in den Perikardialsinus, aus welchem es wieder in das Herz eintritt. 1 kleine, 12 große Antenne oder Fühler; 2 Auge; 3 Fühlerarterie; 4 Kiemenvenen; 5 Perikardium oder Herzbeutel; 6 Herz; 7 Brust-, 9 Baucharterie; 8 Blutsinus; 10 die aus dem Blutsinus zu den Kiemen führenden Zweige; 11 Leberarterie.

12. Die vollkommenste Ausbildung hat das geschlossene Gefäßsystem bei

12. Kreislauf bei Warmblütern.

[1]) Das stoßweise erfolgende Eintreiben des Bluts in die schon prall gefüllten Arterien bewirkt in diesen die Erscheinung des Pulses.

Vögeln und Säugetieren. Wenn wir von Einzelnheiten der Gestaltung absehen, wie sie durch die Körperform bedingt sind, können wir den Kreislauf dieser Tiere auf ein einfaches Schema zurückführen. Das in vier Abteilungen, zwei Vorkammern (Atrien) und zwei Kammern (Ventrikel) geteilte Herz zerfällt in eine linke und eine rechte Hälfte, welche durch eine Scheidewand vollkommen voneinander getrennt sind. Aus den Kammern wird das Blut durch starkwandige Gefäße (Arterien) fortgeleitet, welche sich wiederholt in feinere und feinere Röhren teilen und schließlich in feinste, sehr dünnwandige Röhrchen (Kapillaren) übergehen, durch deren Wandungen hindurch der Stoffaustausch zwischen dem Blut und den Gewebssubstanzen stattfinden kann. Aus den Kapillaren entspringen wiederum stärkere Gefäße (Venen), welche sich fortwährend vereinigen und welche das Blut zum Herzen zurückführen und zwar in die Vorhöfe, aus denen es wiederum in die Kammern gelangt.

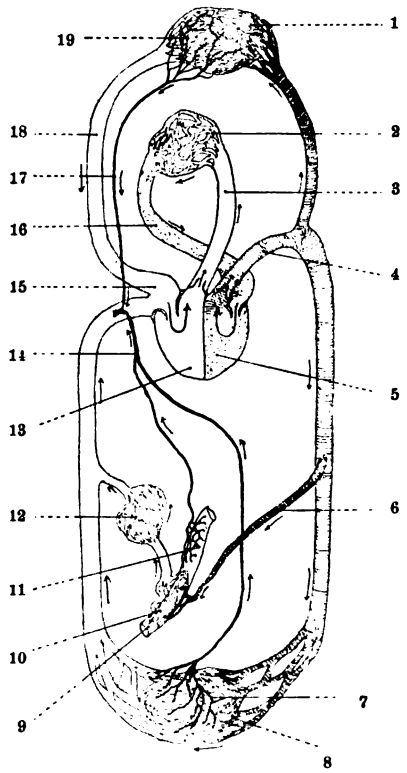


Fig. 91.

Schema des Kreislaufs bei Warmblütern. Die Aorta und ihre Verzweigungen sind schraffiert. die schwarz gezeichneten Linien stellen das Lymphgefäßsystem (vgl. Kap. 11 § 6 u. 7) dar. 1 Kapillaren der vorderen (oralen) Körpergegend; 2 Lungenkapillaren; 3 Lungenarterie (enthält venöses Blut); 4 Aorta; 5 linke Herzkammer; 6 Darmarterien; 7 (schwarz) Lymphgefäße der hinteren (aboralen) Körpergegend; 8 Kapillaren derselben Gegend; 9 Darmschlauch; 10 Kapillaren des Darms; 11 (schwarz) Lymphgefäße des Darms, Chylusgefäße genannt; 12 Kapillaren der Leber, durch welche alles vom Darm kommende Blut nochmals hindurchgeht; 13 rechte Herzkammer; 14 Ductus thoracicus, Lymphstamm für die aus der aboralen Körpergegend und aus dem Darm abfließende Lymphe; 15 rechter Vorhof; 16 Lungenvene (führt arterielles Blut); 17 Lymphgang, durch welchen die aus der oralen Köpergegend stammende Lymphe abfließt; 18 obere Hohlvene; 19 Lymphgefäße der oralen Körpergegenden.

Fig. 91 stellt ein solches Gefäßsystem schematisch dar. Demselben sind die Verhältnisse, wie sie beim Säugetier bestehen, zu Grunde gelegt. Aus dem linken Ventrikel entspringt die helles oder arterielles Blut führende Aorta. Von ihren zahlreichen Zweigen sind nur zwei gezeichnet, einer für den oralen und einer für den größeren aboralen Körperabschnitt. Die aus diesen sich

fortwährend verzweigenden Arterien hervorgehenden Kapillaren sind in Fig. 94 durch netzförmig sich verschlingende feine Linien dargestellt. Soche Kapillarsysteme befinden sich in allen Organen; jedem wird das Blut durch eine oder mehrere Arterien zugeführt, welche alle Zweige der Aorta sind. In den Organen gibt das Blut Sauerstoff ab und nimmt Kohlendioxyd auf. Es wird dabei dunkler und heißt deshalb jetzt dunkles oder venöses Blut. Aus den Kapillaren wird das Blut durch Gefäße fortgeleitet, welche sich fortwährend vereinigen und schließlich zu zwei Hauptvenen, der oberen und der unteren Hohlvene zusammenstoßen. Die Hohlvenen münden in den rechten Vorhof ein, aus welchem das Blut in den rechten Ventrikel gelangt. Aus diesem strömt es, immer noch sauerstoffarm, durch die Lungenarterie, welche sich in zwei Hauptäste teilt, zu den beiden Lungen, geht durch die Kapillarnetze derselben, wobei es Kohlendioxyd abgiebt und Sauerstoff aufnimmt, und kehrt, nun wieder arteriell geworden, durch die Lungenvenen zum linken Herzen zurück.

Die untere Abteilung unserer schematischen Figur zeigt noch eine Besonderheit, welche im Kap. 11 schon angedeutet wurde. Dieselbe hat keine Beziehung zum Atmungsvorgang, ist aber für die Aufnahme und Verwertung der Nahrung von Bedeutung. Die im Darm verdauten und resorptionsfähig gewordenen Nahrungsbestandteile gehen, wie in Kap. 11 § 6 und 7 auseinandergesetzt wurde, zum Teil in das Blut, zum Teil in die Lymphe über. Die aus den Organen entspringenden Lymph- und die aus dem Darmrohr kommenden sogenannten Chylusbahnen sind in Fig. 91 durch die schwarz gezeichneten Linien angedeutet. Außerdem sind (Fig. 91,6) die von der absteigenden Aorta ausgehenden Arterien angedeutet, welche den Darm- oder Ernährungsschlauch mit arteriellem Blut versorgen. Das aus diesen abfließende venöse Blut mündet nicht unmittelbar in die untere Hohlvene ein, sondern fließt zur Leber, in welcher es nochmals durch ein Kapillarsystem geht; erst die aus diesem entspringende Lebervene führt das durch die Leber gegangene Blut in die untere Hohlvene.

Das hier beschriebene Schema passt auch für die Vögel. Das Wesentliche an ihm ist, dass alles Blut bei jedem Umgang, also bei einmaligem Zurücklegen der geschlossenen Kreisbahn, hintereinander durch zwei Kapillarsysteme fließt, einmal durch die in den Organen gelegenen Körperkapillaren, in welchen es Sauerstoff abgiebt und Kohlendioxyd aufnimmt, und das zweite Mal durch die Lungenkapillaren, in denen es umgekehrt Kohlendioxyd abgiebt und Sauerstoff aufnimmt. Bei dem Durchgang durch die Körperkapillaren giebt es zugleich an die Gewebe allerlei Stoffe ab, welche es während seines Aufenthaltes im Darmschlauch aus der Nahrung aufgenommen hatte, und nimmt aus den Organen Stoffe auf, welche

in diesen bei den Lebensvorgängen entstanden sind, um sie den Ausscheidungsorganen zuzuführen. Die hierzu dienenden Einrichtungen sind bei allen Tieren, welche überhaupt ein geschlossenes Gefäßsystem besitzen, im wesentlichen von derselben Art. Wo Unterschiede auftreten, sind sie fast ausschließlich durch die Anordnung der Atmungsorgane bedingt. Wir ersehen daraus, dass in erster Linie die Verhältnisse des Kreislaufs den Anforderungen des Atmungsapparats angepasst sind, oder mit anderen Worten, dass die Cirkulation des Blutes immer so gestaltet ist, dass sie neben ihren übrigen Verrichtungen möglichst vollkommen den Gasaustausch zwischen dem Tier und der Umgebung zu vermitteln vermag.

13. Kreislauf bei Amphibien und Fischen.

13. Wir wollen zur Erläuterung des Gesagten noch einen kurzen Blick auf einige andere Wirbeltiere werfen, bei welchen der Atmungsapparat abweichend von demjenigen der Säugetiere und Vögel gestaltet ist. Wir haben schon erfahren, welche große Rolle die Haut der Frösche bei der Atmung spielt. Aber auch die Schleimhaut der Mund- und Rachenhöhle beteiligt sich erheblich an ihr. Gegen sie tritt der Anteil der Lunge sehr zurück. Dem ist auch die Einrichtung des Blutkreislaufs angepasst.

Das Herz der Amphibien, zu denen der Frosch gehört, besteht nur aus drei Hauptabteilungen, einem rechten und einem linken Vorhof und einem gemeinsamen Ventrikel. Aus den letzteren gelangt das Blut in einen Teil, zu welchem es an dem Herzen der Säugetiere kein Analogon giebt, den *Bulbus cordis*, aus welchem dann der *Truncus arteriosus* entspringt. Letzterer teilt sich bald in eine rechte und eine linke Hauptarterie, aus welcher sämtliche Arterien des ganzen Körpers entspringen. Die beiden Hauptarterien spalten sich sofort in je drei Hauptäste: die Lungen-Hautarterie (*A. pulmocutanea*), die Aorta und die Carotis. Die beiden Aorten wenden sich bogenförmig nach abwärts und vereinigen sich zu der unpaaren *Aorta abdominalis*.

Die Lungen-Hautarterie teilt sich sogleich in einen schwächeren Lungen- und einen stärkeren Hautast. Das durch die Lungenarterien, ihre Verzweigungen und die aus ihnen entspringenden Kapillaren geflossene, sauerstoffreicher und kohlendioxydärmer gewordene Blut kehrt zum rechten Vorhof, das durch Hautarterie u. s. w. geflossene, gleichfalls sauerstoffreicher und kohlendioxydärmer gewordene Blut mischt sich, ehe es in den linken Vorhof gelangt, mit dem venösen, aus den Verzweigungen der Körperarterien und deren Kapillaren hervorgegangenen, in den Organen venös gewordenen Blut. So empfängt der gemeinsame Ventrikel, in welchen sich beide Vorhöfe entleeren, zwar nicht ganz vollkommen, aber doch verhältnismäßig stark arterialisiertes Blut. Es geht aber in

dem Ventrikel keine vollständige Mischung der beiden Blutarten vor sich, da in den Hohlraum des Ventrikels vorspringende Muskelwände die Blutmischung sehr erschweren. Hierdurch sowie durch Klappen und Scheidewände im *Bulbus* und im *Truncus arteriosus* wird bewirkt, dass das aus den Organen zurückkehrende, kohlendioxydreichere Blut vorzugsweise in die *Art. pulmocutanea* geleitet wird, wo es wieder Kohlendioxyd abgeben und Sauerstoff aufnehmen kann, dagegen das aus den Lungen und der Haut zurückkehrende sauerstoffreichere Blut aus dem rechten Vorhof in größerer Menge der Aorta und Carotis zugeführt wird, so dass alle Organe durch fast vollkommen arterialisiertes Blut gespeist werden.

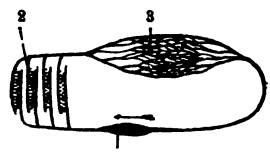


Fig. 92.

Schema des Kreislaufes der Fische. Es ist nur ein Herz (1) vorhanden, welches aus Vorhof, Ventrikel und dem sogenannten Bulbus arteriosus besteht. Aus letzterem entspringt die Hauptarterie, durch welche das Blut zuerst durch die Kiemen (2) und dann durch die Kapillaren aller Organe (3) getrieben wird, um durch die Venen zum Herzen zurückzukehren.

Im Vergleich zu diesem sehr verwickelten Blutlauf ist derjenige der Fische, welchen Fig. 92 schematisch darstellt, sehr einfach. Das Herz besteht nur aus einem Vorhof und einem Ventrikel. Das aus letzterem durch die Arterien ausströmende Blut verteilt sich durch die Kiemen, geht aus diesen, arteriell geworden, zu allen Organen und kehrt dann zum Vorhof zurück, von wo es wieder in den Ventrikel tritt, um seinen Kreislauf von neuem zu beginnen. Hier haben wir also eine einzige, in sich geschlossene Kreisbahn mit einem Herzen, aber zwei hintereinander geschalteten Kapillarsystemen. Im Gegensatz dazu haben die Säugetiere und Vögel in Wirklichkeit zwei Herzen, ein rechtes und ein linkes, welche nur scheinbar zu einem verwachsen sind, eines für den Lungenkreislauf (das rechte) und eines für den Körperkreislauf (das linke, vgl. Fig. 91 auf S. 378).

Da jedes dieser Herzen nur ein Kapillarsystem, in welchem sehr große Widerstände zu überwinden sind, versorgt, kann die Geschwindigkeit der Strömung viel größer werden. In allen angeführten Beispielen aber zeigt sich stets, wie die Einrichtung des Kreislaufs in erster Linie von der Anordnung der Atmungsapparate bedingt ist. Die Atemthätigkeit, die stete Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff und Entfernung des entstandenen Kohlendioxyds, ist für die Lebensvorgänge so wichtig, dass die Blutbewegung, als Hilfseinrichtung hierfür, um so vollkommener diesem Zweck angepasst sein muss, je lebhafter die Lebensvorgänge sind.

Fünfzehntes Kapitel.

Der Stoffwechsel der Lebewesen.

2. Ausscheidung und Wiederersatz.

1. Ausscheidung von Stoffen.

1. Die Atmung, welche wir im vorigen Kapitel als eine ganz allgemeine Erscheinung des Lebens kennen gelernt haben, ist mit einem stetigen Verbrauch der organischen Substanz, aus welcher die lebenden Wesen bestehen, verbunden. Der Sauerstoff dringt fortwährend in die Gewebe ein und verbindet sich mit Bestandteilen derselben. So werden diese zum Teil verbraucht; die Produkte der Oxydation müssen sich in den Zellen ansammeln oder in dem Maße, wie sie entstehen, fortgeführt und ausgeschieden werden. Insoweit es sich um Kohlendioxyd handelt, wurde die Ausscheidung desselben schon im vorigen Kapitel besprochen.

Die stetige Gewichtsabnahme können wir bei größeren Lebewesen unmittelbar durch die Wage konstatieren, soweit sie nicht durch Aufnahme von Stoffen aus der Außenwelt ausgeglichen oder zeitweise sogar in eine Gewichtszunahme verwandelt wird.[1]) Genaue Versuche haben gelehrt, dass in längeren Zeiträumen die Menge des in Gestalt von Kohlendioxyd und anderer sauerstoffhaltiger Verbindungen ausgeschiedenen Sauerstoffs der Menge des aufgenommenen gleichkommt, dass dagegen (beim hungernden Tier) die Gesamtmenge der Ausscheidungen das Gewicht des Sauerstoffs übertrifft. Daraus folgt, dass aller mit der Atmung aufgenommene Sauerstoff sich innerhalb des Tierkörpers mit Bestandteilen der Gewebe verbunden hat, und dass die Produkte dieser Vereinigung in Gestalt von Kohlendioxyd und anderen sauerstoffhaltigen Verbindungen den lebenden Organismus wieder verlassen haben.

Wir wissen, dass die Gewebe sich aus Gemengen von Proteinstoffen, Kohlenhydraten, Fetten, Wasser und Salzen aufbauen. Von

[1]) Die folgenden Auseinandersetzungen beziehen sich zunächst fast ausschließlich auf Tiere. Die in wichtigen Beziehungen abweichenden Verhältnisse bei Pflanzen werden im weiteren Verlauf des Kapitels besprochen werden.

den beiden letzteren können wir, da sie Sauerstoff nicht mehr aufzunehmen vermögen, bei unserer jetzigen Betrachtung absehen.[1]) Die drei ersten Gruppen von Gewebsbestandteilen, welche man als die organischen von den beiden anderen unterscheidet, bestehen aus den Elementen C, H, O, N, S und P (die Proteine) oder nur aus den drei erstgenannten Elementen allein (Kohlenhydrate und Fette). Fette und Kohlenhydrate werden innerhalb des Tierkörpers ganz in derselben Weise oxydiert, wie es bei genügender Sauerstoffzufuhr auch außerhalb des lebenden Körpers geschehen würde; sie gehen dabei vollständig in Kohlendioxyd und Wasser über. Proteinstoffe aber können im Tierkörper nicht vollständig oxydiert werden. Werden dieselben außerhalb des Körpers durch Erhitzung unter Sauerstoffzutritt verbrannt, so entstehen als Endprodukte Kohlendioxyd, Wasser und Stickstoff. Bei der Oxydation im Tierkörper dagegen bleibt die Oxydation auf niedrigerer Stufe stehen. Die Proteinstoffe spalten sich in eine stickstofffreie Gruppe, welche bei der Oxydation gleichfalls Kohlendioxyd und Wasser liefert, und in eine stickstoffhaltige, welche durch Verbindung mit Sauerstoff in eine Reihe von Stoffen übergeht, deren höchste Oxydationsstufe, soweit sie unter den in den Organismen vorhandenen Bedingungen entstehen kann, der Harnstoff ist. Diese Stoffe werden daher in den Ausscheidungen der Lebewesen gefunden.

Der Harnstoff CO $(NH_2)_2$ ist das höchstoxydierte der im Tierkörper aus den Proteinen entstehenden Verbrennungsprodukte. Die Oxydation geht aber allmählich, stufenweise vor sich, und manche dieser Vorstufen, bei Pflanzenfressern Hippursäure, ferner Harnsäure, Kreatin u. a. werden neben dem Harnstoff ausgeschieden, in wechselnder, aber meistens viel geringerer Menge als Harnstoff. Wenn die Harnsäure und ihre Salze, welche schwerer löslich sind als Harnstoff, in etwas größerer Menge vorhanden sind, so nehmen die Ausscheidungen oft Breiform an, wie man an dem Harn der Vögel und Reptilien sieht. Auch der Schwefel und der Phosphor der Proteinstoffe nehmen an dem Oxydationsprozess teil und werden in verschiedenen Formen, teils als Schwefelsäure und Phosphorsäure (an Metalle gebunden), teils in Verbindung mit organischen Um-

[1]) Außer den genannten Stoffen weist die chemische Analyse noch geringe Mengen andrer höher zusammengesetzter Stoffe nach, ferner Zersetzungsprodukte aller dieser Stoffe sowie der Fette und Kohlenhydrate, welche bei den Lebensvorgängen entstanden und noch nicht durch Ausscheidung entfernt worden sind. Da erstere bei der Oxydation dieselben Produkte liefern wie die eigentlichen Proteinstoffe, so wird durch sie in den folgenden Betrachtungen nichts geändert. Unter den Salzen kommen gelegentlich auch solche organischer Säuren vor, welche noch Sauerstoff aufnehmen können und dabei in Karbonate übergehen. Diese müssen bei der Berechnung der Quellen des ausgeschiedenen Kohlendioxyds mit berücksichtigt werden.

setzungsprodukten ausgeschieden. Obgleich die Bedeutung dieser Umwandlungen für die Lebensvorgänge keine geringe ist, so liegt doch die Verfolgung derselben außerhalb des Planes unserer Darstellung. Die Mengen des ein- und ausgeführten S und P sind immer im Vergleich zu denen des gleichzeitig umgesetzten C, H, O und N so gering, dass es bei der numerischen Betrachtung des Stoffumsatzes kaum in Betracht kommt, ob man auf jene Rücksicht nimmt oder nicht.

Kohlendioxyd und ein Teil des Wassers werden bei den in der Luft lebenden Organismen durch Lungen, Haut und Darm ausgeschieden, Kohlendioxyd bei den im Wasser lebenden Organismen durch Kiemen, Haut und Darm. Ob auch im Wasser gelöste Stoffe, d. h. hauptsächlich die Oxydationsprodukte der Proteinstoffe, durch die Kiemen und die ihnen ähnlichen Organe (Wasserlungen) zur Ausscheidung gelangen, ist unbekannt; doch kann dies nach den physikalischen Bedingungen, welche in jenen Organen gegeben sind, sehr wohl der Fall sein. Wo keine besonderen Atmungsorgane bestehen, sondern das gesamte Protoplasma in unmittelbare Berührung mit Wasser kommt, wie es bei Protisten und bei den mit Gastrovaskularsystem versehenen Organismen der Fall ist, müssen dieselben Einrichtungen neben dem respiratorischen Gasaustausch auch für die Ausscheidung der stickstoffhaltigen Oxydationsprodukte dienen. Bei höheren Tieren bestehen dagegen für die Ausscheidung der festen und gelösten Stoffe besondere drüsige Organe. In erster Linie kommen hierfür die Nieren in Betracht. Bei niederen Tieren finden sich an Stelle der Nieren einfachere Organe, welche je nach ihrem Bau als Wassergefäße, Schleifenkanäle oder Nephridien bezeichnet werden. Alle diese stellen sozusagen eine aufsteigende Reihe eines nach demselben Grundplan gebauten, für die Ausscheidung von Wasser und fester, im Wasser gelöster Stoffe geeigneten Organs dar. Die einfachsten Formen solcher Organe, die Wassergefäße, sind verzweigte Röhren, deren enge Anfangsteile blind geschlossen und mit Wimpern versehen sind, welche das in den Röhren enthaltene Wasser in Bewegung setzen. Die im ganzen Körper vorhandenen feinen Röhrchen vereinigen sich schließlich zu einem oder mehreren Hauptstämmen, welche nach außen münden. Sie stellen sozusagen das Gegenstück zu dem im Kap. 14, § 3 erwähnten Gastrovaskularsystem dar. Während dieses neben der Aufnahme zugeführter auch die Abgabe im Organismus entstandener Stoffe vermittelt, besorgen die Wassergefäße nur die Ausscheidung in den Geweben entstandener Stoffe. Schleifenkanäle und Nephridien tragen schon deutlicher den Charakter wirklicher Drüsen, wie er in Kap. 13 § 12 gekennzeichnet ist. Als Beispiel verweisen wir auf die in Fig. 78 (S. 358) dargestellte Planarie, bei welcher man neben dem Gastro-

vaskularsystem die (heller gezeichneten) Nephridien sieht, welche mit vielen Öffnungen an der Außenfläche des Körpers münden.

2. Bei größeren Tieren ist es nicht schwer, sämtliche in einer bestimmten Zeit ausgeschiedenen Stoffe aufzusammeln und ihrer Beschaffenheit und Menge nach zu untersuchen. Es kommt dabei hauptsächlich auf die quantitative Bestimmung des ausgeschiedenen Kohlenstoffs und Stickstoffs an. Ersterer, welcher als gasförmiges Kohlendioxyd, zum Teil auch an Basen gebunden, und im Harnstoff ausgeschieden wird, dient als Maß für die Gesamtheit der im Organismus oxydierten organischen Stoffe; der Stickstoff, von welchem bei Säugetieren rund neun Zehntel in Form von Harnstoff ausgeschieden werden, als Maß für die Oxydation der stickstoffhaltigen Gewebsbestandteile, insbesondere der Proteinstoffe. In dem ausgeschiedenen Kohlendioxyd findet man meist etwas weniger Sauerstoff, als mit der Atmungsluft aufgenommen wurde, weil ein Teil des Sauerstoffs innerhalb des Organismus zur Bildung von Wasser und Harnstoff verwendet wird. Eine genaue Bestimmung des in einer begrenzten Zeit gebildeten Wassers ist aber nicht möglich, weil das ausgeschiedene Wasser zum allergrößten Teil aus dem die Gewebe durchtränkenden oder mit der Nahrung aufgenommenen Wasser stammt. 2. Quantitative Untersuchung des Stoffwechsels.

Die durch den Lebensprozess entstandenen Verluste des Organismus können durch die Zufuhr von Nahrung mehr oder weniger vollständig ausgeglichen werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Tiere zu dauernder Erhaltung ihres Lebens in der Nahrung dieselben Stoffe aufnehmen müssen, aus denen die Gewebe bestehen, nämlich Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette, Wasser und Salze. Da die beiden letzteren den Organismus in der gleichen Menge und nahezu der gleichen Zusammensetzung verlassen, wie sie aufgenommen worden sind, so bleibt zu untersuchen, was mit den drei Gruppen organischer Nahrungsstoffe während ihres Aufenthalts im Organismus vorgeht. Wir wollen jedoch bei unsrer Betrachtung zunächst alle die Vorgänge unberücksichtigt lassen, welche von der Aufnahme der Stoffe in den Mund bis zu ihrer Ausscheidung ablaufen, und nur einfach quantitativ die eingeführten und die ausgeführten Stoffe unter einander vergleichen. Späterer Erörterung bleibt die Frage vorbehalten, wo und durch welche Einwirkungen die chemische Umwandlung der eingeführten Stoffe erfolgt[1]).

[1]) Lavoisier, welcher es zuerst deutlich ausgesprochen hat, dass der eingeatmete Sauerstoff zur Oxydation der Körperbestandteile dient, nahm an, dass die Oxydation im Blut vor sich gehe, und zwar gleich nach der Aufnahme des Sauerstoffs in den Lungen. Wir wissen aber jetzt, dass der Prozess sich unter dem Einfluss des lebenden Protoplasmas ganz allmählich und andauernd in allen Geweben vollzieht.

Man kann derartige Versuche an einem Tier, einem Hund z. B., anstellen, indem man während vierundzwanzig Stundenalle seine Ausscheidungen bestimmt und ihm dann in der Nahrung die Stoffe wieder zuführt, welche er während dieser Zeit verloren hat. Es befindet sich dann in Bezug auf die Mengen von Kohlenstoff, Stickstoff u. s. w. am Ende der Versuchsperiode genau auf demselben Stande wie zu Beginn derselben. Indem man das Verfahren wiederholt, kann man das Tier längere Zeit auf einem bestimmten Zustand erhalten. Wenn man alles, was es einnimmt, und alles, was es ausgiebt, nach Art und Menge der Stoffe bestimmt, so erforscht man das, was wir Stoffwechsel genannt haben.

3. Stoffwechselgleichgewicht.

3. Was wir in Wirklichkeit in solchen Versuchen feststellen, ist auf der einen Seite die Gesamtmenge von Kohlenstoff, Stickstoff, Salzen und Wasser, welche das Tier ausscheidet, und die Quantitäten derselben Stoffe, welche es mit der Nahrung aufnimmt. Bleibt dabei das Gesamtgewicht des Tieres unverändert, dann nehmen wir an, dass die eingenommenen Nahrungsbestandteile an die Stelle der durch den Lebensprozess verbrauchten Körperbestandteile getreten seien, dass sich also in dem Bestande des Tierkörpers nichts geändert habe[1]). Wir sagen dann, das Tier befinde sich im Stoffwechselgleichgewicht. Da aber stickstofffreie Nahrungsstoffe unmöglich zum Ersatz für stickstoffhaltige Gewebsbestandteile dienen können, so muss gesondert festgestellt werden, ob die Menge des eingenommenen Stickstoffs der in den Ausscheidungen enthaltenen Stickstoffmenge und ob die gesamte in den Nahrungsstoffen enthaltene Kohlenstoffmenge der ausgeführten entspricht. Ist ersteres der Fall, so spricht man von Stickstoffgleichgewicht, trifft beides zu, von Gesamtstoffwechselgleichgewicht.

Die Versuche zerfallen in die Bestimmungen des respiratorischen Stoffwechsels, welcher die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlendioxyd und gasförmigem Wasser umfasst, und des übrigen Stoffwechsels, welcher die Aufnahme fester und flüssiger Stoffe und ihre Abgabe in den Ausscheidungen in sich begreift. Derjenige Teil der Nahrung, welcher unverdaut den Nahrungsschlauch verlässt und dem sich ein Teil der in den Darmkanal ergossenen Sekrete (Galle u. a.) sowie abgestoßene Darmepithelien u. s. w. beimischen, ferner etwa verloren gegangene Körperbestandteile (Haare u. dgl.) müssen sorgfältig berück-

[1]) Unbedingt sicher ist das nicht. Denn wenn z. B. die Menge der im Tierkörper vorhandenen Kohlenhydrate geringer, die der Fette größer geworden ist, während die Menge des ausgeschiedenen Kohlenstoffs der des aufgenommenen gleich war, so entziehen sich diese Veränderungen der genauen Feststellung.

sichtigt werden. Genaue Stoffwechselversuche stellen an die Geduld und Geschicklichkeit des Experimentators recht hohe Anforderungen.

Versuche dieser Art haben ergeben, dass die Verluste an Stickstoff nur durch Aufnahme von Proteinstoffen, insbesondere von Eiweißkörpern, in der Nahrung gedeckt werden können. Fehlen diese, oder werden sie in zu geringer Menge aufgenommen, so sinkt das Körpergewicht fortwährend, selbst wenn die anderen Nahrungsbestandteile in reichlicher Menge genossen werden, und schließlich geht das Tier zu Grunde. Für jedes Tier giebt es ein Minimum von Proteinstoffen, welches unbedingt in der Nahrung enthalten sein muss, wenn das Leben auf die Dauer bestehen soll. Wird mehr aufgenommen, so wird auch dieses größere Quantum (vorausgesetzt, dass die Stoffe verdaut und resorbiert werden) zersetzt, und die entsprechende Menge von Stickstoff erscheint in den Ausscheidungen. Wir können daraus schließen, dass eine gewisse Menge von Proteinen, welche ja die wichtigsten Bestandteile der Gewebe sind, bei den Lebensvorgängen stets zersetzt wird und durch neu zugeführte Proteine ersetzt werden muss. Welche Bedeutung die Oxydation der größeren, über den minimalen Bedarf hinaus in der Nahrung aufgenommenen Menge der Proteinstoffe hat, darüber sind die Meinungen der Physiologen noch nicht vollkommen geklärt.

Die genossenen Proteinstoffe enthalten auch Kohlenstoff und Wasserstoff. Soweit diese Elemente nicht als Bestandteile organischer Verbindungen den Körper verlassen, erscheinen sie in den Ausscheidungen als Kohlendioxyd und Wasser. Der größte Teil dieser letzteren Ausscheidungsprodukte stammt aber aus der Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten, welche neben den Proteinstoffen genossen werden müssen, und zwar in solcher Menge, dass alle zusammen den Kohlenstoffgehalt der Ausscheidungen decken[1]). Dabei können sich Kohlenhydrate und Fette gegenseitig in der Weise vertreten, dass eine größere Menge der einen eine Ersparung der anderen gestattet und umgekehrt. Gewohnheit, Gelegenheit zu leichterer Erlangung der einen oder der anderen Art von Nahrung geben hierbei meist den Ausschlag. Bei Menschen und vielen Haustieren, für welche wir natürlich die meisten Erfahrungen besitzen, hat sich herausgestellt, dass eine Mischung beider Gruppen mit passender Abwechselung in den Mengenverhältnissen besser ist als ein vollkommen festes Verhältnis zwischen beiden.

[1]) Eine Ernährung durch Proteinstoffe allein wäre nur möglich, wenn diese in solcher Menge genossen und verdaut würden, dass sie den ganzen Kohlenstoffbedarf deckten. Sie würden dann viel mehr Stickstoff zuführen, als zur Erhaltung des Stickstoffgleichgewichts erforderlich ist. In Wirklichkeit kommt eine solche Ernährung niemals vor, da auch die reinen Fleischfresser mit dem Fleisch stets Fette und etwas Kohlenhydrate aufnehmen.

4. Ernährung der Pflanzen.

4. Alle Tiere vermögen also nur von fertigen organischen Stoffen (Proteinstoffen, Kohlenhydraten, Fetten) sich zu ernähren. Was sie außerdem bedürfen, Wasser, Salze, Sauerstoff zum Atmen, ist in der Natur so reichlich vorhanden, dass unter gewöhnlichen Verhältnissen daran kaum Mangel eintreten kann. Die organischen Stoffe aber können sich die Tiere nur verschaffen, indem sie andere Tiere oder Pflanzen genießen. Da die Tiere, welche anderen zur Nahrung dienen, sich ihrerseits von Pflanzen nähren, so stammt in letzter Linie alle tierische Nahrung aus dem Pflanzenreich. Wir haben deshalb jetzt zu untersuchen, auf welche Weise die Pflanzen fortwährend die ungeheuren Mengen von Proteinstoffen, Kohlenhydraten und Fetten beschaffen, welche zur Ernährung der unzähligen, auf der Erde lebenden Tiere erforderlich sind.

Eine höhere Pflanze gliedert sich in Wurzel, Stamm und Blätter. Sie entsteht aus dem Samen, in der Regel innerhalb des Bodens; die erste Entwickelung kann aber auch in feuchter Luft erfolgen und dann leichter beobachtet werden. Die wesentlichen Teile des Samens sind der Embryo oder Keimling, die ihm beigegebenen Ernährungsstoffe (Reservestoffe) und die beide einschließende Samenschale. Der Embryo (Fig. 93 A) enthält schon die Hauptteile der späteren Pflanze vorgebildet, den Stammteil (h), des Würzelchen (r) und die Keimblätter oder Kotyledonen (c); v ist der sogenannte Vegetationskegel, von dem das Wachstum des Stamms ausgeht. Wird der Same genügend durchfeuchtet und ist die Temperatur nicht zu niedrig, so beginnt die Keimung, bei welcher die Wurzel nach abwärts wächst, der Stammteil sich nach oben verlängert und die Kotyledonen sich zu Blättern entfalten. Alle phanerogamen Pflanzen entwickeln sich auf diese Weise; einige besitzen nur ein Keimblatt und werden deshalb Monokotyledonen genannt, andre, welche zwei Keimblätter besitzen, heißen Dikotyledonen.

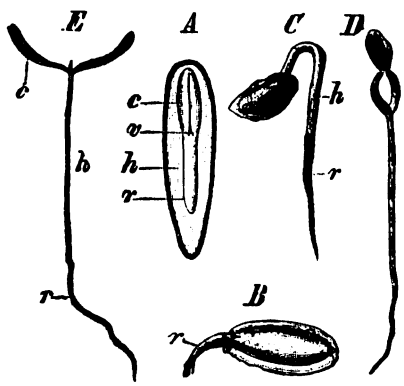


Fig. 93.

Keimung einer Pflanze. *A* Längsschnitt durch einen reifen Samen; *B* bis *E* verschiedene Stadien der Keimung. *c* Kotyledonen, *h* Stammteil, *r* Würzelchen, *v* Vegetationspunkt des Stammteils. — In *B* hat die Keimung begonnen; das Würzelchen ist gewachsen und krümmt sich nach abwärts. Dann wächst auch der Stammteil, und endlich entfalten sich die Keimblätter, nachdem die Samenhülle gesprengt worden ist.

Während der Keimung nimmt der Samen außer Wasser und Sauerstoff nichts von außen auf. Was zur Massenzunahme der Wurzel und

des Stammes erforderlich ist, wird von den Reservestoffen geliefert. Das Gesamtgewicht der in der jungen Keimpflanze vorhandenen festen Stoffe ist deshalb auch immer geringer, als es im Samen gewesen war, da ein Teil der Reservestoffe durch die Atmung verloren gegangen ist. Der Keimling entwickelt sich also zunächst auf Kosten der ihm von der Mutterpflanze mitgegebenen Reservestoffe. Hat aber die Keimpflanze die Wurzel und die ersten Blätter entwickelt, so kann sie selbständig weiter wachsen, vorausgesetzt, dass ihr die hierzu erforderlichen Stoffe von außen zugeführt werden.

Um die Bedingungen zu erforschen, unter denen eine Pflanze zu wachsen vermag, bedient man sich der sogenannten Wasserkultur. Die junge Keimpflanze wird mit ihrem Stämmchen in einem Kork oder einem Kartenblatt passend befestigt und so auf ein mit Wasser gefülltes Glas gesetzt, dass die Wurzel in das Wasser eintaucht. Soll die junge Pflanze (der Steckling) jetzt nicht verkümmern, sondern sich kräftig entwickeln, so muss das Wasser folgende Elemente in passenden Verbindungen enthalten: Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen.

Eisen scheint für alle Pflanzen notwendig zu sein. Manche Pilze können das Calcium entbehren. Andere Stoffe sind zwar nicht unentbehrlich, können jedoch fördernd auf das Wachstum einwirken; wieder andere sind für manche Zwecke nützlich, z. B. die Kieselsäure für die Festigkeit der äußeren Zellen, namentlich bei Gräsern. Meerpflanzen nehmen viel Natrium und Jod auf; Spuren von Jod enthalten auch Landpflanzen. Manche enthalten Zink, wenn sie auf zinkhaltigem, sogenannten Galmeiboden wachsen (Viola lutea), andere Aluminium (Weinstock); doch sind nur die oben angeführten Elemente für das Leben der Pflanzen unbedingt notwendig.

Die für die Wasserkulturen geeigneten Nährstofflösungen können verschieden zusammengesetzt sein. Wenn sie nur die für die Ernährung der Pflanzen unbedingt erforderlichen Stoffe enthalten, so gedeihen die Pflanzen in ihnen gleich gut. Als Beispiele mögen zwei solcher Lösungen dienen, welche mit Erfolg zur Ernährung von Pflanzen für längere Zeiträume verwandt worden sind: In 4 l Wasser waren gelöst:

		Lösung I	Lösung II
Kalisalpeter	KNO_3	4 g	1 g
Kochsalz	$NaCl$	1 g	—
Gips (Calciumsulfat)	$CaSO_4$	1 g	—
Magnesiumsulfat	$MgSO_4$	1 g	1 g
Calciumphosphat	$Ca_3P_2O_8$	1 g	—
Calciumnitrat	CaN_2O_6	—	4 g
Monokaliumphosphat	KH_2PO_4	—	1 g
Eisenchlorid	Fe_2Cl_6	Einige Tropf.	—
Ferrosulfat	$FeSO_4$	—	Einige Tropf.
Phosphorsäure	H_3PO_4	Einige Tropf.	„

Wenn Pflanzen im Erdboden wachsen, ist es nicht unbedingt notwendig, dass die zu ihrer Ernährung notwendigen Stoffe in wasserlöslichen Verbindungen vorhanden sind. Durch allerlei Vorgänge, welche von der Wurzel selbst oder von anderen Verhältnissen abhängen, können manche unlösliche Verbindungen in dem Maße, als sie von den Pflanzen gebraucht werden, in lösliche Verbindungen umgewandelt und dann aufgenommen werden.

Die Mengen, in denen jedes der notwendigen Elemente im Wasser gelöst sein muss, sind gering, doch darf keines von ihnen unter ein gewisses Minimum herabsinken, wenn die Pflanze gut gedeihen soll. Ist eines oder sind alle im Überschuss vorhanden, so nimmt die Pflanze doch nur die ihr notwendige geringe Menge auf. Aus sehr verdünnten Lösungen wird verhältnismäßig viel von den gelösten Stoffen aufgenommen; die Lösung wird also noch verdünnter, bis die Grenze erreicht ist, welche es der Pflanze noch eben ermöglicht, die Stoffe aufzunehmen, deren sie zu ihrem Wachstum bedarf.

5. Neubildung organischer Stoffe in der Pflanze.

5. Verbrennt man eine in dieser Weise in Wasserkultur aufgezogene Pflanze, so findet man alle mineralischen Bestandteile, welche die Pflanze aus dem Wasser aufgenommen hat, in der Asche wieder. Das Gewicht der Pflanze hat aber in viel stärkerem Grade zugenommen, als der Menge der aufgenommenen Mineralstoffe und des Wassers (nach Abzug des an die Luft abgegebenen) entspricht. Dieser Überschuss ist bedingt durch Neubildung organischer Stoffe in der Pflanze.

Da diese aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff oder aus diesen Elementen und außerdem noch aus Stickstoff nebst etwas Schwefel und Phosphor bestehen, so ist klar, dass die durch die Wurzeln aufgenommenen Elemente Wasserstoff und Sauerstoff (als Bestandteile des aufgenommenen Wassers) innerhalb der Pflanze sich mit Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor verbunden haben müssen. Stickstoff, Schwefel und Phosphor wurden durch die Wurzeln aufgenommen; Kohlenstoff aber fehlte in dem Wasser, das zu den Wasserkulturen verwendet wurde, vollkommen. Man kann auch feststellen, dass Zusatz von löslichen Kohlenstoffverbindungen zu dem den Wurzeln dargebotenen Wasser bei den meisten Pflanzen keinen fördernden Einfluss auf das Wachstum hat.

Wir haben also zu untersuchen, woher der in den Pflanzen zur Bildung organischer Verbindungen verwendete Kohlenstoff kommt. Es ist festgestellt worden, dass die Pflanze aus der Luft Kohlendioxyd aufnimmt und dasselbe spaltet. Sie giebt den Sauerstoff wieder aus, während der Kohlenstoff sich innerhalb der Pflanze mit den anderen Elementen zu Kohlehydraten, Fetten und Proteinstoffen verbindet.

6. Die Ausgabe von Sauerstoff durch Pflanzen lässt sich auf folgende Weise zeigen: Einige lange, dünne Wasserpflanzen (*Elodea canadensis* oder *Chara fragilis* eignen sich gut dazu) werden in einen hohen Glascylinder mit Wasser gebracht, die Wurzelenden nach aufwärts gerichtet. Diese Enden werden abgeschnitten und die Schnittflächen der Fäden in ein, an einem Ende geschlossenes, mit Wasser gefülltes und in das Wasser des Cylinders (mit der Mündung nach unten) eingesenktes Glasrohr eingeführt. Aus den Schnittenden steigen Bläschen auf und sammeln sich im Glasrohr. Hat sich eine genügende Gasmenge gesammelt, so kann man den Nachweis führen, dass es Sauerstoff ist, indem man einen glimmenden Holzspahn einführt, der sofort hell aufflammt. 6. Ausgabe von Sauerstoff durch Pflanzen.

Man kann den Versuch auch mit Blättern von Laubbäumen oder anderen Landpflanzen anstellen. Die Blätter werden mit Wasser übergossen und dieses mit einem Glasstabe tüchtig umgerührt, um die anhaftende Luft möglichst zu entfernen. Dann wird ein Trichter über die Blätter gestürzt und über das nach oben gerichtete, unter Wasser befindliche Trichterrohr eine mit Wasser gefüllte Glasröhre gestülpt, in welcher sich das von den Blättern ausgeschiedene Gas sammelt.

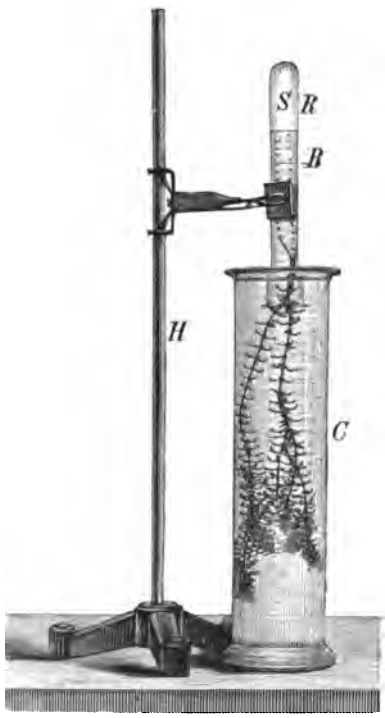


Fig. 94.

Sauerstoffausscheidung durch grüne Pflanzen. Die Wasserpflanze Elodea canadensis ist abgeschnitten und umgekehrt in das Wasser gesteckt, welches den Cylinder *C* anfüllt; ihr unteres Ende ist in das mit Wasser gefüllte und in *C* umgestülpte Rohr *R* eingeführt. Aus dem Schnittende steigen Bläschen *B* auf und sammeln sich bei *S*. Die Untersuchung des Gases zeigt, dass es Sauerstoff ist.

Um genauere Bestimmungen über die Menge des zerlegten Kohlendioxyds zu machen, bringt man ein Blatt in ein oben geschlossenes, unten durch Quecksilber abgesperrtes Glasrohr (ein Eudiometer, s. S. 172), welches mit einem Gemenge von Kohlendioxyd und atmosphärischer Luft von bekannter Zusammensetzung gefüllt ist, und bestimmt nach einiger Zeit die Veränderung in der Zusammensetzung der Luft. Auf diese Weise hat man gefunden, dass die Menge des in der Zeiteinheit gespaltenen Kohlendioxyds abhängt von der Oberfläche des Blattes, der

Lichtintensität und der Temperatur. Blätter verschiedener Pflanzen wirken ungleich, bei Blättern derselben Art aber ist die Zerlegung direkt proportional der Größe der Oberfläche. Sie wächst mit der Lichtintensität anfangs sehr schnell, dann langsamer. Die Temperatur muss innerhalb gewisser Grenzen bleiben, bei zu niederer und zu hoher Temperatur stockt die Zerlegung des Kohlendioxyds; für jede Pflanze giebt es eine Temperatur, bei welcher die Zerlegung ein Maximum zeigt.

Füllt man die Eudiometerröhren mit reinem Kohlendioxyd, so ist die Zerlegung sehr gering, nimmt aber zu, wenn man den Druck erniedrigt. Noch förderlicher ist ein Zusatz von Sauerstoff oder atmosphärischer Luft. Die Gegenwart von freiem Sauerstoff ist nicht unbedingt erforderlich, so lange im Innern der Pflanzen noch etwas Sauerstoff vorhanden ist; bleiben aber die Pflanzen längere Zeit ganz ohne Sauerstoff, so hört auch die Kohlendioxydzerlegung auf.

Annähernd kann man die Intensität der Sauerstoffabgabe schätzen, wenn man bei der in Fig. 94 dargestellten Versuchsanordnung mit Wasserpflanzen die Zahl der in einer bestimmten Zeit aus den Schnittenden aufsteigenden Bläschen zählt.

Wenn man bei diesen Versuchen die Pflanzen in helles Licht bringt, so erhält man reichliche Sauerstoffausscheidung, am reichlichsten im vollen Sonnenlicht; in völliger Dunkelheit wird gar kein Sauerstoff ausgeschieden. Der Versuch gelingt nur mit grünen Pflanzenteilen. Nicht grüne Teile von Pflanzen oder ganze Pflanzen, welche überhaupt niemals grün werden (z. B. Pilze), entwickeln keinen Sauerstoff. Sie atmen vielmehr, was schon im vorigen Kapitel § 5 gezeigt wurde wie alles lebende Protoplasma, d. h. sie nehmen, Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd ab. Dasselbe thun auch die grünen Pflanzenteile; bei ihnen aber lässt es sich nur im Dunklen nachweisen, weil im Licht der entgegengesetzte Vorgang gleichzeitig stattfindet. Wir sehen also, dass die Zerlegung des Kohlendioxyds mit Ausgabe von Sauerstoff an zwei Bedingungen gebunden ist: an die grüne Farbe und an die Anwesenheit von Licht.

7. Chlorophyll. 7. Untersucht man die grünen Pflanzenteile, so findet man hauptsächlich in den dicht unterhalb des Epithels gelegenen Zellen, auf welche das einfallende Licht zunächst wirken kann, in das Protoplasma eingelagert grüne Körper, die Chlorophyllkörper. Sie sind meist rund oder ellipsoidisch, etwas abgeflacht, seltener (nur bei niederen Algen) anders gestaltet. Sie bestehen aus einer ungefärbten Grundsubstanz, in welcher ölige, den Farbstoff enthaltende Körnchen sich befinden. Der grüne Farbstoff wird Chlorophyll genannt.

Gewöhnlich finden sich neben dem Chlorophyll in geringerer Menge noch zwei andere Farbstoffe, ein gelber, Xanthophyll, und ein gelbroter, Carotin. Bei einigen Algen kommen auch blaue, braune und rote

Farbstoffe vor. Je nachdem der eine oder der andere dieser Farbstoffe in größerer Menge vorkommt, kann die Farbe der Pflanzenteile verschieden sein. Bei einigen Bakterien findet sich ein purpurroter Stoff, das Bakteriopurpurin, weshalb man diese Bakterien Purpurbakterien genannt hat (vgl. S. 361, Anm.).

Alle Blattfarbstoffe haben die Fähigkeit, unter der Einwirkung von Licht Kohlendioxyd zu zerlegen. Da das Chlorophyll am kräftigsten wirkt und in der Regel in größter Menge vorhanden ist, wollen wir unsere weitere Besprechung an dieses anknüpfen. Übergießt man grüne Blätter mit Alkohol, so werden sie in kurzer Zeit farblos, während der Alkohol sich grün färbt.[1]) In auffallendem Licht zeigt die Lösung rotbraune Fluorescenz. Die mikroskopische Untersuchung der Blätter lehrt, dass die Chlorophyllkörper ihre Gestalt und ihr sonstiges Aussehen nicht geändert haben; sie sind nur farblos geworden. Außer im Alkohol sind die Blattfarbstoffe auch in Äther, Schwefelkohlenstoff u. a. löslich.

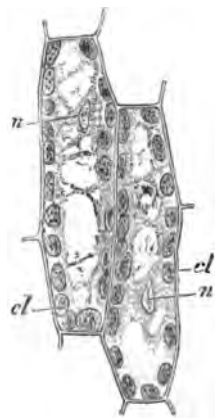


Fig. 95.
Chlorophyllkörper in Zellen aus dem Blatt des Laubmooses Funaria hygrometrica. *n* Kerne, *cl* Chlorophyllkörper.

8. Farbige Gläser oder Lösungen von Farbstoffen lassen einen Teil der im weißen Sonnenlicht vereinigten Strahlen hindurch gehen, während sie andere mehr oder minder vollständig absorbieren. So lässt eine konzentrierte Lösung von Kupferoxydammoniak blaues und violettes Licht durch, absorbiert dagegen das rote, gelbe und einen großen Teil des grünen Lichts; dagegen absorbiert eine gesättigte Lösung von Kaliumbichromat alles blaue und violette Licht und lässt das rote, gelbe und einen Teil des grünen Lichts hindurchgehen. Man kann also durch Anwendung dieser beiden Lösungen den für unser Auge sichtbaren Teil des Sonnenlichts sozusagen halbieren, durch die eine die eine Hälfte, durch die andere die andere Hälfte des Lichts abblenden. 8. Wirkung verschiedener Lichtarten.

Bringt man eine Pflanze in ein Glasgefäß, stellt dieses in ein etwas weiteres und füllt den Zwischenraum mit der Chromatlösung, so kann nur rotes, gelbes und etwas grünes Licht zu der Pflanze gelangen. Stellt man daneben einen gleichen Apparat, dessen Zwischenraum mit Kupferoxydammoniaklösung gefüllt ist, so kann

[1]) Ein Zusatz von wenig Äther zum Alkohol ist nützlich, um den sehr häufig die Blätter bedeckenden wachsartigen Überzug (vgl. Kap. 13 § 11) zu entfernen. Das Chlorophyll lässt sich leichter extrahieren, wenn man die Blätter vorher mit heißem Wasser abgebrüht hat.

zu dieser Pflanze nur blaues, violettes und etwas grünes Licht gelangen. Man wird dann finden, dass in dem ersten Gefäß die Zerlegung des Kohlendioxyds nur wenig schwächer (etwa um $^1/_{10}$) erfolgt, als in dem gewöhnlichen weißen Licht, in dem zweiten Gefäß aber nur in sehr geringem Grade eintritt (etwa $5\,^0/_0$ von derjenigen im weißen Licht).

Um genauer festzustellen, welche Lichtart die größte Wirkung ausübt, benutzt man mit Vorteil fadenförmige Algen. Man beleuchtet dieselben unter dem Mikroskop mit Hilfe eines Prismas derart, dass die einzelnen Teile des Fadens von verschiedenen Farben getroffen werden. Um die Größe der Sauerstoffausscheidung zu schätzen, dient die mehr oder weniger reichliche Anhäufung sauerstoffbedürftiger Bakterien, welche mit dem Algenfaden zusammen in dem beobachteten Wassertropfen enthalten sind. Wie wir in Kap. 14 § 4 gesehen haben, sammeln sich gewisse Bakterien da an, wo die Sauerstoffspannung ihnen am meisten zusagt, Bakterien, welche ein großes Sauerstoffbedürfnis haben, also da, wo der Sauerstoffgehalt des Wassers am größten ist. Hält man solche Bakterien mit ihrem Wassertropfen, in welchem eine Alge sich befindet, erst einige Zeit im Dunkeln und belichtet dann plötzlich, so sieht man zuerst die Bakterien nahezu gleichmäßig verteilt; bald aber begeben sie sich dahin, wo durch lebhafte Sauerstoffausscheidung seitens der Pflanze ihrem Sauerstoffbedürfnis am besten genügt wird. Bei mäßig starker Lichtintensität findet die größte Anhäufung der Bakterien im roten Teil des Spektrums, zwischen den FRAUNHOFER'schen Linien B und C statt, bei größerer Lichtstärke aber verbreitet sie sich nach dem violetten Ende hin.

Lässt man weißes Licht durch eine Chlorophylllösung von passender Konzentration und Dicke hindurchgehen, so werden dieselben Lichtarten, welche die stärkste Wirkung auf grüne Pflanzenteile ausüben, von der Lösung am stärksten absorbiert. In dem Spektrum des durchgegangenen Lichts zeigt sich von der FRAUNHOFER'schen Linie B bis etwas über C

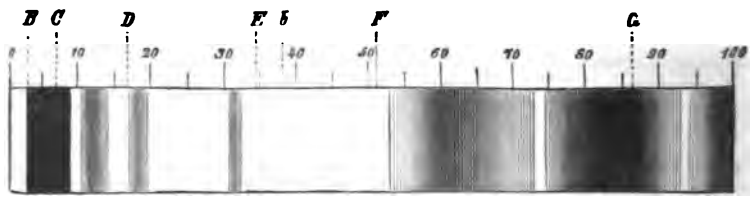


Fig. 96.

Absorptionsspektrum des Chlorophylls. In dem Spektrum, wie man es mit Hilfe eines Prismas erzeugen kann, ist die Lage der Fraunhofer'schen Linien (*B* bis *G*) angedeutet. Schaltet man zwischen die Lichtquelle und den Spalt des Spektroskops eine alkoholische Chlorophyll-Lösung ein, so erscheinen die dunklen Absorptionsbänder. Durch stärkere Lösungen wird der brechbarere Teil des Spektrums (von der Linie *F* bis *G*) ganz verdunkelt. Dieser Teil der Figur ist aber so gezeichnet, wie er bei Verwendung einer etwas verdünnteren Lösung erscheint.

hinaus eine Lücke, ein schwarzes Absorptionsband. Eine schwächere Absorption findet sich an anderen Stellen; besonders die ganze, stärker brechbare Hälfte des Spektrums, welche vom Blau und Violett eingenommen wird, ist sehr lichtschwach. Ist die Lösung konzentrierter oder die Schicht dicker, so kann diese Hälfte ganz schwarz erscheinen.

Wir sehen also, dass zwar alle Teile des für unser Auge sichtbaren Sonnenspektrums die Zerlegung des Kohlendioxyds veranlassen können, dass aber die Lichtarten, welche durch das Chlorophyll am stärksten absorbiert werden, die Zerlegung am kräftigsten anregen.[1])

Ist eine Pflanze dem Sonnenlicht ausgesetzt, so werden die oberflächlichsten Chlorophyllkörper vom Licht zuerst getroffen und bewirken eine starke Kohlendioxydzerlegung. In dem durch sie hindurchgegangenen Licht ist das rote von der Brechbarkeit, die dem Teil des Spektrums von B bis C entspricht, sehr geschwächt, weil es von der oberflächlichsten Chlorophyllschicht absorbiert worden ist. Wären alle anderen Lichtarten vollkommen unwirksam, so könnten tiefer gelegene Chlorophyllschichten überhaupt keine Zerlegung mehr bewirken. Es wäre also gleichgiltig, ob unter der obersten Schicht noch Chlorophyll vorhanden wäre oder nicht. Da aber das wenig absorbierte gelbe und grüne Licht, besonders das erstere bis zur Fraunhofer'schen Linie D hin, zwar etwas schwächere als das rote, aber doch noch merkliche Wirkungen ausübt, so können auch die tieferen Chlorophyllschichten sich an der Gesamtwirkung beteiligen.

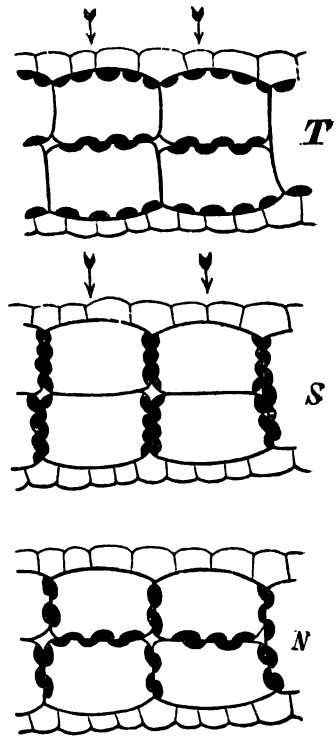


Fig. 97.
Lageveränderungen der Chlorophyllkörper. Zellen der Wasserlinse (Lemna triscula) bei verschiedener Beleuchtung. Die Pfeile geben die Richtung des einfallenden Lichts an. *T* bei diffusem Tageslicht, *S* bei Sonnenlicht, *N* bei Nacht.

Immerhin folgt aus dem Gesagten, dass der Hauptanteil der Wirkung dem am oberflächlichsten gelegenen Chlorophyll zufällt. Da die Stärke der Wir-

[1]) Da die anderen, oben genannten Blattfarbstoffe die einzelnen Lichtarten in etwas anderer Weise absorbieren als Chlorophyll, so verschiebt sich, wo diese in größerer Menge vorhanden sind, die Stelle der stärksten Wirkung im Spektrum etwas nach der einen oder nach der anderen Seite hin.

kung auch von der Intensität des auf die Pflanze fallenden Lichtes abhängt, so ist es interessant zu sehen, dass die Anordnung der Chlorophyllkörper mit der wechselnden Lichtstärke sich verändert. In Fig. 97 ist die Anordnung dieser Körper in den Zellen einer Wasserpflanze (*Lemna triscula*) dargestellt; Fig. 97 T zeigt die Anordnung bei mäßiger Tagesbeleuchtung, S diejenige bei starkem direkten Sonnenlicht, N diejenige bei sehr schwachem Licht und während der Nacht.

9. Entstehen und Vergehen des Chlorophylls.

9. Das Chlorophyll entsteht innerhalb der Pflanzenzellen aus dem lebenden Protoplasma und ist in seiner Wirksamkeit an das Leben des Protoplasmas gebunden. Alles, was die Lebenseigenschaften des letzteren vorübergehend oder dauernd stört, hebt auch die Wirkung der Farbstoffe auf, z. B. hohe Temperaturen, Äther, Chloroform. Chlorophyllkörper, welche keine Chlorophylle enthalten, sind wirkungslos.

Chlorophyll entsteht in der lebenden Pflanze nur unter dem Einfluss des Lichts. Eine Ausnahme hiervon machen die Kotyledonen der Koniferen und die Wedel der Farnkräuter, welche auch im Dunkeln ergrünen, wenn nur die Temperatur hoch genug ist. Bei allen anderen Pflanzen, sofern sie überhaupt Chlorophyll bilden können, entstehen im Dunkeln zwar die Chlorophyllkörper, sie bleiben aber farblos. Daher sind auch unterirdische Teile, wie Wurzeln u. dergl. niemals grün. Oberirdische Teile, wie Stengel und Blätter von Pflanzen, welche man im Dunkeln wachsen lässt, werden blassgelblich, sie etiolieren. Das Wachstum ist dabei häufig ein beschleunigtes, namentlich das Längenwachstum der Stengel. Bei manchen Pflanzen unterbleibt die Chlorophyllbildung an einzelnen Stellen, so dass die Blätter ein gestreiftes oder gefleckte Ansehen erhalten, was die Gärtner als Panachierung bezeichnen. Endlich gehört zu den Bedingungen der Chlorophyllbildung eine nicht zu niedrige Temperatur und die Anwesenheit einer, wenn auch sehr geringen Menge eines löslichen Eisensalzes. Fehlt Eisen ganz, so bleibt das Ergrünen aus; doch ist es noch unbekannt, ob das Eisen als wesentlicher Bestandteil in die chemische Zusammensetzung des Chlorophylls eingeht. Größere Mengen von Eisensalzen im Boden sind übrigens dem Wachstum der Pflanzen nicht förderlich.

Die zur Erzeugung des Chlorophylls erforderliche Lichtintensität ist sehr gering, viel geringer als diejenige, welche mit Hilfe des schon gebildeten Chlorophylls die Zerlegung des Kohlendioxyds bewirkt. Schließt man das Licht ganz ab, so verschwindet das schon gebildete Chlorophyll, freilich sehr langsam, so dass es erst nach Tagen oder Wochen vollkommen verschwunden ist.

10. Bewegung der Gase in der Pflanze.

10. Je nachdem von den beiden entgegengesetzten Vorgängen, der stets vor sich gehenden Atmung einerseits und der nur bei Belichtung stattfindenden Zerlegung des Kohlendioxyds andererseits,

der eine oder der andere überwiegt, giebt die Pflanze bald Sauerstoff, bald Kohlendioxyd ab. Auch im Licht überwiegt die Sauerstoffabgabe nur an den grünen Stellen, während die farblosen immer Sauerstoff verbrauchen. Es muss daher bei größeren Pflanzen eine fortwährende Wanderung der Gase innerhalb ihrer Gewebe stattfinden. Einrichtungen, welche den Atembewegungen der Tiere zu vergleichen wären, fehlen den Pflanzen vollkommen. Der Austausch der Gase erfolgt zum Teil mit den in der Pflanze stattfindenden Saftströmungen, zum Teil durch Diffusion in den mit Luft erfüllten Interzellularräumen.

Dass luftführende, die ganze Pflanze durchziehende Hohlräume vorhanden sind, kann man durch folgenden Versuch zeigen: Eine nicht ganz mit Wasser gefüllte Flasche ist durch einen Kork verschlossen, durch welchen der Stiel eines Blattes oder ein dünner Zweig luftdicht hindurchgeführt ist; der Stiel oder Zweig reicht bis unter die Wasseroberfläche. Der Kork wird außerdem von einem Glasrohr durchsetzt, das über dem Wasser endet. Saugt man an diesem, so treten Luftbläschen aus dem Stiel aus und steigen im Wasser in die Höhe. Man kann auf diese Weise einen dauernden Luftstrom durch die Pflanze hindurchsaugen.

Bei dem Versuch über die Sauerstoffausscheidung durch Wasserpflanzen (s. o. § 6) sieht man die Gasbläschen aus den ange-

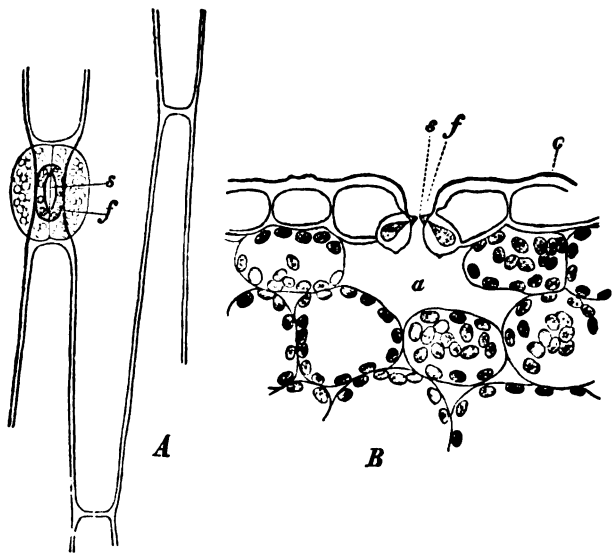


Fig. 98.

Spaltöffnungen der Pflanzen. *A* Epidermiszellen und Spaltöffnung an der Unterseite eines Blattes von Iris florentina, *B* Querschnitt. *s* die Spaltöffnung, *f* die von den Rändern der Schließzellen gebildete Grube, *c* Cuticula, *a* Atemhöhle.

schnittenen Luftkanälen hervortreten. Stellt man den Versuch an Blättern einer Landpflanze an, so treten die Bläschen an der Blattfläche auf. Hier finden sich, bei Landpflanzen meistens an der Unterfläche, bei Wasserpflanzen, deren Blätter an der Wasseroberfläche schwimmen, nur an der Oberseite, zahlreiche Spaltöffnungen, d. h. Lücken in dem epithelialen Überzug, die von zwei eigentümlichen Zellen, den Schließzellen, begrenzt werden. Unterhalb derselben sieht man im Gewebe die Atemhöhle, einen großen Interzellularraum, der mit den engeren, die ganze Pflanze durchziehenden Interzellulargängen zusammenhängt. Die Schließzellen können je nach dem Wassergehalt der umgebenden Luft die Spaltöffnungen erweitern oder verschließen. Dadurch dienen diese neben ihrer Bedeutung für die Aufnahme und Abgabe der Gase auch zur Regelung der Wasserverdunstung oder Transpiration der Pflanzen.

11. Wasserbewegung in der Pflanze.

11. Landpflanzen nehmen durch ihre Wurzeln fortwährend Wasser aus dem Boden auf, welches in eigenen Gefäßen aufwärts steigt und hauptsächlich in den Blättern an die atmosphärische Luft durch Verdunstung abgegeben wird, zuweilen auch in tropfbar flüssiger Form an gewissen Stellen austritt. Die Zellen der Wurzelrinde ziehen das Wasser an und pressen es in die Gefäße mit einem Druck, welcher zuweilen größer als der einer Atmosphäre werden kann. Schneidet man eine gut bewurzelte Pflanze nahe über der Erde ab, so tritt aus der Schnittfläche Wasser aus (Bluten der Pflanze.) Verbindet man den Stumpf durch ein übergeschobenes, gut befestigtes Kautschukrohr mit einem Quecksilbermanometer, so kann die Qecksilbersäule durch den Druck des aufsteigenden Saftstroms bis zu 100 cm hoch gehoben werden. Dieser Wurzeldruck, dessen Ursachen bisher noch nicht genügend erforscht sind, und die Wasserverdunstung in den Blättern bewirken eine aufsteigende Bewegung der aus dem Boden aufgenommenen Salzlösungen durch die ganze Pflanze bis zu den Blättern, in denen sie chemisch verarbeitet werden.

Dass auch die Wasserverdunstung der Blätter eine Saugwirkung ausübt, welche freilich nicht so stark ist wie der Wurzeldruck, kann man an abgeschnittenen Zweigen leicht nachweisen. Befestigt man an dem frisch abgeschnittenen Ende eines gut belaubten Zweiges mit Hilfe eines Kautschuckschlauches ein Glasrohr, füllt dieses mit Wasser und taucht sein Ende in Quecksilber, so wird das Wasser aufgesogen und das Quecksilber gehoben. Der negative Druck, unter den dabei das Wasser gerät, kann einige Zentimeter groß werden. Ist das Quecksilber so hoch gestiegen, dann wirkt es saugend auf die Interzellularräume; es tritt Luft durch die Spaltöffnungen ein und aus dem Schnittende des Zweiges aus.

So lange die Pflanze in der Lage ist, das durch Verdunstung verlorene Wasser von den Wurzeln her zu ersetzen, saugen die Zellen, deren Inhalt aus quellbaren und in halbdurchlässige Umhüllungen eingeschlossenen löslichen Stoffen besteht, so viel Wasser an, als dem in ihnen bestehenden osmotischen Druck entspricht. Infolgedessen übt der protoplasmatische Inhalt auf die umhüllenden Cellulosemembranen einen Druck aus, welcher den Turgor der Zellen bewirkt (vgl. Kap. 7 § 8). Verliert die Pflanze durch Verdunstung mehr Wasser, als ihr ersetzt wird, so nimmt der Turgor ab, die Pflanze welkt[1]).

12. Aus dem aufgenommenen Wasser, den in ihm gelösten Salzen und dem durch Spaltung des Kohlendioxyds gewonnenen Kohlenstoff muss die Pflanze alle organischen Stoffe aufbauen, welche man in ihr vorfindet. Wie dieser Aufbau, den man als eine chemische Synthese bezeichnen kann, zu stande kommt, das kann man zum Teil mikroskopisch verfolgen. Untersucht man grüne Pflanzenteile, 12. Bildung von Stärke.

1 2 3

Fig. 99.

Stärkekörner, 1 der Kartoffel, 2 aus Hafer, 3 aus Reis.

nachdem sie der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt gewesen sind, so findet man in den Chlorophyllkörpern Einschlüsse, welche meist aus Stärke bestehen. Diese können wir also als das erste nachweisbare Assimilationsprodukt ansehen. Da Stärke durch Jod blau gefärbt wird, so lässt sich ihre Anwesenheit mikroskopisch oder bei größerer Menge auch makroskopisch leicht nachweisen. Entfärbt man ein belichtet gewesenes grünes Blatt durch Alkohol und legt es dann in Jodlösung, so färbt es sich tiefblauviolett bis blauschwarz.

[1]) An den starren, ganz verholzten Pflanzenteilen zeigt sich der Wasserverlust natürlich nicht durch Schlaffwerden. Dass aber auch das Wasser aus den röhrenförmigen Gefäßen, welche aus abgestorbenen Zellen bestehen, durch die Verdunstung an der Oberfläche der Blätter entfernt wird, geht aus dem Verhalten gefällter Bäume hervor. Wird ein Baum, der im vollen Saft steht, unmittelbar nach dem Fällen entlaubt, so fault er leicht. Lässt man ihm aber einen Teil seiner Krone, so schwindet ein großer Teil des Wassers aus seinen Gefäßen durch die an den Blättern stattfindende Verdunstung. Das Holz wird dann schneller trocken und haltbar.

Die in den Chlorophyllkörpern gebildete Stärke bleibt dort nicht liegen; sie wird fortwährend aufgelöst[1]) und wieder neugebildet. Die Lösung und Fortführung der Stärke erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist. Da die Neubildung nur unter Mitwirkung von Licht erfolgen kann, so kann man alle Zellen stärkefrei machen, wenn man sie vom Licht abschließt. Thut man das mit einzelnen Stellen eines Blattes, so werden nur diese frei von Stärke. Wird z. B. ein Teil eines Blattes genügend lange zwischen zwei Korkplatten eingeklemmt oder mit Stanniol umwickelt, sodann dem Blatte sein Chlorophyll durch Alkohol entzogen und das so behandelte Blatt in Jodlösung gelegt, so werden die belichtet gebliebenen Stellen blau, die vorher verdunkelten und deshalb stärkefrei gewordenen Teile aber werden gelbbraun gefärbt durch Einwirkung des Jods auf das stärkefreie Gewebe.

Fig. 100.
Lösung und Fortführung der Stärke im Dunkeln. Das Blatt war zum Teil mit einem undurchsichtigem Stanniolstreifen bedeckt. Unter demselben ist alle Stärke verschwunden. Nachdem durch Alkohol das Chlorophyll entfernt worden, wird das Blatt mit Jod behandelt. Es färbt sich nur an den belichteten Stellen dunkelblau.

Stärke ist eine Polysaccharose von der Zusammensetzung $(C_6H_{10}O_5)n$ (vgl. Kap. 10 § 8 u. 9). Zu ihrer Bildung bedarf es der Vereinigung von Kohlenstoff mit den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnis, in welchem diese letzteren im Wasser vorhanden sind. Wenn also die Pflanze durch die Wurzeln Wasser und aus der Luft Kohlendioxyd aufnimmt und zerlegt, wobei der Sauerstoff entweicht, so hat sie die zur Bildung der Stärke notwendigen Elemente beisammen. Es kommt nur darauf an, dass diese sich miteinander verbinden.

Ob diese Synthese direkt oder auf Umwegen erfolgt, ob neben der Stärke noch andere Verbindungen entstehen, das ist noch nicht genügend erforscht. Man hat nachgewiesen, dass bei der Bildung von Stärke das Volum des abgegebenen Sauerstoffs genau gleich ist dem Volum des aufgenommenen Kohlendioxyds. Wenn wir uns erinnern, dass nach der AVOGADRO'schen Hypothese gleiche Volumina verschiedener Gase gleich viel Molekeln enthalten (vgl. Kap. 6 § 10 und Kap. 8 § 6), so heißt das also, dass auf jede Molekel aufgenommenen Kohlendioxyds eine Molekel Sauerstoff frei wird. Man kann daher die Bildung der Stärke aus Kohlendioxyd und Wasser darstellen durch die Formel

$$6(CO_2) + 6(H_2O) = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

[1]) Die Lösung ist mit einer chemischen Umwandlung der Stärke verbunden, denn Stärke selbst ist vollkommen unlöslich. Näheres s. in Kap. 10 § 9.

Aus der Monosaccharose $C_6H_{12}O_6$ (Glykose) könnte dann durch Polymerisierung unter Wasserabspaltung die Polysaccharose Stärke $(C_6H_{10}O_5)_n$ entstehen.[1])

13. Die in den Chlorophyllkörpern sichtbaren Stärkekörner bestehen niemals aus reiner Stärke, sondern sind immer aus verschiedenen Polymerisationsstufen der Saccharosen gemischt. Die Mono- und Disaccharosen, sowie die nächsten Polymerisationsstufen derselben sind in Wasser löslich, während die Stärke selbst vollkommen unlöslich ist. Die löslichen Saccharosen können also mit der Saftströmung fortgeführt werden und zur Ernährung anderer, nicht chlorophyllführender Teile der Pflanze dienen. Da im Dunkeln auch die schon fertig gebildete Stärke wieder verschwindet, so müssen wir weiter schließen, dass sie wieder in lösliche Stoffe zurückverwandelt werden kann, um zur Ernährung, d. h. zum Ersatz der durch die Atmung verbrauchten Substanz zu dienen. Wird bei länger dauernder Lichteinwirkung mehr Stärke gebildet, als die Pflanze zum Aufbau ihrer Organe verwenden und durch Atmung verbrauchen kann, so wird der Überschuss, nachdem er in löslicher Form aus den chlorophyllhaltigen Zellen fortgeführt ist, an anderen Stellen wieder in unlösliche Stärke zurückverwandelt uud als Reservestoff aufgespeichert. Solche Reservestoffbehälter sind besonders die Stengel, die Knollen und Zwiebeln und die Samen. Die in den letzteren abgelagerten Reservestoffe dienen, wie wir gesehen haben, zur ersten Ernährung der Keimpflanze, solange diese noch kein Chlorophyll gebildet hat, also noch nicht imstande ist, selbst Stärke zu erzeugen. Daher können Samen, in deren Samenlappen oder Kotyledonen die Reservestoffe reichlich enthalten sind, in völliger Dunkelheit keimen und eine völlig normale Pflanze mit Wurzel, Stengel, Zweigen und Blättern erzeugen. Die Pflanze kann um so größer werden, je größer der Vorrat an Reservestoffen war. Ist dieser Vorrat aufgezehrt, so bedarf sie des Lichtes, um weiter zu wachsen. Sie kränkelt und stirbt, wenn es ihr nicht in genügender Intensität gewährt wird, auch wenn sie die anderen Nährstoffe durch die Wurzel aufnehmen kann.

13. Wanderung der Kohlenhydrate.

14. Nicht ganz so gut wie über die Bedingungen für die Entstehung der Kohlenhydrate sind wir über die Entstehung der Fette und der Proteinstoffe in den Pflanzen aufgeklärt. Niedere Pflanzen

14. Bildung der Proteinstoffe.

[1]) Damit soll nicht behauptet werden, dass die Bildung der Stärke wirklich auf diese Art zu stande kommt. Genaueres ist noch nicht bekannt. Bei einigen Pflanzen (Algen) wird übrigens statt der Stärke fettes Öl als erstes Assimilationsprodukt abgelagert. Bei diesen müsste das Volum des ausgeschiedenen Sauerstoffs größer sein als das Volum des aufgenommenen Kohlendioxyds. Es sind mir aber keine unzweideutigen Untersuchungen über diese theoretisch interessante Frage bekannt geworden.

(Spross- und Fadenpilze z. B.) können aus einem Kohlenhydrat (Zucker) und Ammonium- oder salpetersauren Salzen Proteine bilden. Besser gedeihen sie, wenn ihnen als Stickstoffquelle Pepton zur Verfügung steht[1]). Bei chlorophyllhaltigen Pflanzen entstehen die Fette meist erst nachträglich aus den Kohlenhydraten, welche unter Mitwirkung des Lichts und des Chlorophylls gebildet worden sind, ausnahmsweise auch aus künstlich zugeführten Kohlenhydraten. Dazu bedarf es, da Fette wie Kohlenhydrate nur aus den Elementen C, H, O zusammengesetzt sind, einer Umlagerung der Atome unter Ausscheidung eines Teiles des O. Aus denselben Elementen und den durch die Wurzeln aufgenommenen Elementen N, S und P können die Proteinstoffe aufgebaut werden. Zu dieser Synthese bedarf es nicht der Mitwirkung des Chlorophylls. Sie kann, wie es scheint, in allen lebenden Zellen der Pflanzen stattfinden, doch geht sie wahrscheinlich vorzugsweise auch in den Laubblättern vor sich. Ob dabei die Chlorophyllkörper eine besondere Rolle spielen, abgesehen davon, dass sie durch das in ihnen vorhandene Chlorophyll die zur Bildung notwendigen Kohlenhydrate liefern, ist noch nicht ausgemacht. Der Stickstoff wird aus dem Boden hauptsächlich in Form von Nitraten aufgenommen[2]). Durch die in der Pflanze reichlich gebildeten organischen Säuren (Oxalsäure u. a.) werden die Nitrate zerlegt; die Basen werden an die organischen Säuren gebunden und in unlöslicher Form zurückbehalten. Da freie Oxalsäure ein starkes Gift ist, so ist es zugleich als ein Vorteil anzusehen, dass sie durch die Neutralisierung unschädlich gemacht wird. Über den Verlauf des wichtigen chemischen Prozesses, durch welchen aus dem Stickstoff der Salpetersäure zusammen mit den anderen Elementen die Proteinstoffe entstehen, weiß man noch nichts Genaueres. Wahrscheinlich entstehen zuerst allerlei Zwischenstufen (Amide und Amidosäuren), unter denen das Asparagin, welches namentlich in Keimlingen fast immer gefunden wird, eine wichtige Rolle spielen dürfte (vgl. Kap. 9 § 17).

Da in die Zusammensetzung der Proteinstoffe auch Schwefel und Phosphor mit eingehen, so erklärt sich, warum auch diese neben dem Stickstoff niemals in dem Boden oder dem Wasser, in welchem die Pflanzen wachsen, fehlen dürfen. Schwieriger ist zu bestimmen, welche Rolle die übrigen als notwendig erkannten Mineralstoffe (Kalium, Magnesium u. s. w.) spielen. Sie sind

---

[1]) Von der Ernährungsweise der chlorophyllfreien Pflanzen wird in den beiden folgenden Kapiteln noch weiter die Rede sein.

[2]) Es ist durch Versuche nachgewiesen worden, dass höhere Pflanzen keinen Stickstoff aus der Atmosphäre aufnehmen. Die bei manchen Bakterien mögliche Aufnahme gasförmigen Stickstoffs wird später besprochen werden.

vielleicht zu einem kleinen Teil mit den Proteinstoffen chemisch verbunden, gehören mit zur chemischen Konstitution derselben. Ihre hauptsächlichste Bedeutung liegt aber wahrscheinlich darin, dass sie die Löslichkeit der Proteinstoffe beeinflussen und damit ihren Transport von den Stellen der Erzeugung zu denen des Verbrauchs ermöglichen, da nur lösliche Substanzen in der Pflanze derart in Bewegung gesetzt werden können, wie es den Bedürfnissen des fortwährend wechselnden Wachstums an den verschiedenen Stellen einer Pflanze entspricht.

Neben den Proteinstoffen kommen in vielen Pflanzen stickstoffhaltige Alkaloide wie Strychnin, Chinin, Morphin, Nikotin u. a. vor, welche giftig sind, aber auch in unserem Arzneischatz eine hervorragende Rolle spielen (vgl. Kap. 9 § 18). Welche Bedeutung sie für das Leben der Pflanzen haben, ist unbekannt. Jedenfalls sind sie ihr nützlich als Schutzmittel gegen das Gefressenwerden. Demselben Zwecke dienen wohl auch die meistens stickstofffreien Bitterstoffe, wie Aloin, Santonin u. s. w.

15. Die organischen Stoffe, welche die Pflanzen auf diese Weise bereiten, dienen also den Tieren zur Nahrung, mögen diese sich unmittelbar von Pflanzen ernähren, oder mittelbar, indem sie Tiere verzehren, deren Leibessubstanz ihrerseits aus verzehrten Pflanzenstoffen aufgebaut worden ist. Die verzehrte Nahrung wird entweder in einer Form aufgenommen, in welcher sie unmittelbar zum Aufbau tierischer Gewebssubstanz verwertet werden kann, oder sie muss erst chemische Umwandlungen erfahren, welche sie hierzu geeignet machen. Sie muss vor allen Dingen löslich und diffusibel sein, damit sie durch osmotische Vorgänge in das Innere der lebenden Zellen eindringen kann. Bei größeren Lebewesen muss sie durch die im vorigen Kapitel geschilderten Einrichtungen von den Orten der Aufnahme (Darmkanal) nach den entfernteren Körperteilen hintransportiert werden. Die chemischen Umwandlungen, welche die Nahrungsstoffe erfahren, um löslich und diffusibel zu werden, fassen wir unter dem Namen der Verdauung zusammen. Durch sie werden die sehr zusammengesetzten Stoffe nicht in ihren wesentlichen chemischen Charakteren verändert. Die Proteinstoffe, die Kohlenhydrate, die Fette bleiben, was sie sind. Aber innerhalb der Reihe der Proteinstoffe giebt es verschiedene Stufen der Komplikation; die für die Ernährung wichtigsten Gruppen, die Globuline und Albumine, sind zum Teil unlöslich, alle aber, auch die löslichen, sind schwer oder gar nicht diffusibel. Dadurch wird ihre Aufnahme sehr erschwert oder ganz unmöglich gemacht. Indem sie in die weniger komplizierten oder einfacheren Proteine, in letzter Linie in Peptone, umgewandelt werden, welche leicht löslich und diffusibel

15. Ernährung der Tiere.

sind, wird ihre Aufnahme in die Gewebe und damit ihre Verwertung ermöglicht. Das Gleiche gilt von den Kohlenhydraten. Aus der sehr komplizierten, ganz unlöslichen Stärke gehen einfachere, lösliche und leichter diffusible Poly-, Di- und Monosaccharosen hervor, namentlich Dextrine und einfache Zucker von der Art der Glykose. Die Fette endlich werden nur wenig chemisch verändert. Ein kleiner Teil der Neutralfette wird gespalten, die abgespaltenen Fettsäuren verbinden sich mit dem in den alkalischen Flüssigkeiten des Darmkanals stets vorhandenen Alkali zu Seifen, welche die feine Verteilung des übrigen Neutralfetts zu kleinsten Tröpfchen ermöglichen. In dieser Form kann das Fett leichter aufgenommen werden. Sind so die drei Arten der organischen Nahrungsstoffe verdaut und aus dem Darmkanal resorbiert worden, so können sie in das Protoplasma der lebenden Zelle eindringen, um dort entweder der oxydierenden Einwirkung des Sauerstoffs zu unterliegen oder unter der Einwirkung des lebenden Protoplasmas von neuem zu höher zusammengesetzten Proteinen, Kohlenhydraten u. s. w. umgewandelt, zu Bestandteilen des Protoplasmas selbst, zu werden und so zur Vermehrung der lebenden Substanz, zum Wachstum des Lebewesens zu dienen. Früher oder später unterliegt aber auch das so aufgespeicherte Material der Einwirkung des Sauerstoffs, und die aus dieser Oxydation entstehenden Produkte, hauptsächlich Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff, gelangen zur Ausscheidung. Diese Vorgänge sind es, welche wir unter dem Namen des Stoffwechsels im Eingange dieses Kapitels besprochen haben. Mit den chemischen Vorgängen des Stoffwechsels sind aber andere Vorgänge verknüpft, Erzeugung von Energie in verschiedenen Formen, welche die eigentlichen Lebensvorgänge darstellen. Auf sie werden wir in den folgenden Kapiteln näher eingehen.

Sechzehntes Kapitel.

Der Kreislauf der Stoffe.

1. Die Unterschiede in der Ernährung bei Tieren und Pflanzen lassen es erklärlich erscheinen, dass man von jeher die Lebewesen in diese beiden Gruppen eingeteilt hat, um so mehr als jene Unterschiede meistens auch mit sehr auffallenden anderen Verschiedenheiten im Bau, in der Lebensweise u. s. w. verbunden zu sein pflegen. Dies gilt aber, genau genommen, nur für die hochentwickelten Glieder der beiden Gruppen. Zwar kennt man kein einziges, aus irgendwelchen Gründen wirklich als Tier anzuerkennendes Wesen, das sich anders als durch Aufnahme von Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten ernähren könnte;[1]) doch giebt es niedere Organismen, welche allerlei Abweichungen von beiden typischen Ernährungsweisen aufweisen. Jene beiden großen Gruppen aber, die Tiere auf der einen, die grünen Pflanzen auf der anderen Seite, sind in ihrer Ernährung aufeinander angewiesen. Nur durch ihr Nebeneinandersein wird der dauernde Bestand beider möglich. Denn die Tiere nähren sich von den Stoffen, welche die Pflanzen produzieren, und ihre Zersetzungsprodukte dienen wieder den Pflanzen als Rohstoffe für die Neuerzeugung tierischer Nahrung. Wären allein solche Lebewesen auf der Erde, welche sich nach Art der Tiere ernähren, so könnte ein Teil derselben den anderen zur Nahrung dienen; nach einiger Zeit aber müssten alle zu Grunde gehen. Ebenso wenig könnten die höheren Pflanzen allein längere Zeit auf der Erde bestehen. Denn der Boden, auf welchem Pflanzen wachsen, erfordert fortwährenden Ersatz der ihm entzogenen Salze; auch das Kohlendioxyd der Atmosphäre müsste schließlich auf einen so geringen Betrag herabsinken, dass es den Bedürfnissen der Pflanzenwelt nicht mehr genügen könnte.

1. Unterschiede der Ernährung bei Pflanzen und Tieren.

[1]) Selbst unterirdisch oder unter ähnlichen Bedingungen lebende Wesen, wie z. B. Würmer, welche große Mengen von Erde verschlucken, finden in dieser Erde immer geringe, aber für sie genügende Mengen jener drei Stoffgruppen und leben in Wirklichkeit von diesen, nicht von den gleichzeitig verschluckten anorganischen Stoffen.

Ein Stoffwechsel in dem Sinne, wie er Kap. 14 § 1 definiert wurde, besteht bei Pflanzen nur in sehr geringem Grade. Sie geben im allgemeinen sehr wenig von den Stoffen aus, welche sie produzieren. Nur äußerst geringe Mengen ihrer Gewebsbestandteile werden durch die Atmung in gleicher Weise wie bei Tieren in Anspruch genommen, d. h. oxydiert und in dieser oxydierten Form ausgegeben. Außer Wasser, geringen Mengen Kohlendioxyd, flüchtigen Stoffen wie Blumendüften und dergl. verliert die Pflanze kaum etwas an ihre Umgebung. Das verdunstete Wasser ergänzen die Pflanzen durch Aufnahme aus dem Wasser des Bodens, die geringen Mengen verbrauchten Sauerstoffs aus der Atmosphäre oder, bei Belichtung, durch Zerlegung des aufgenommenen Kohlendioxyds. Was sie aus dem in diesem enthaltenen C und dem mit den Wurzeln aufgenommenen N und H_2O an Proteinstoffen, Fetten, Kohlenhydraten produzieren, das speichern sie zum allergrößten Teil in sich auf; neue Triebe entwickeln sich, die alten nehmen an Dicke zu. Alle Pflanzen wachsen, so lange sie leben, fort und fort; manche langlebige sind sozusagen in ihrem Wachstum unbegrenzt. Selbst abgestorbene Teile, wie Borke u. dergl. können noch lange Zeit im mechanischen Verband mit den lebenden Teilen bleiben. Es bedarf gröberer mechanischer oder anderer Mittel, von denen im Verlauf dieses Kapitels noch die Rede sein wird, um die in den Pflanzenleibern aufgespeicherten Stoffe wieder in Bewegung zu setzen und sie anderen Prozessen zugänglich zu machen.

Das Gleiche gilt auch, wenn auch nicht ganz in demselben Maße, für die niederen Pflanzen. Zwar äußert sich das Wachstum bei diesen weniger in einer fortwährenden Zunahme der Größe der Individuen, sondern mehr in der Vermehrung ihrer Zahl, wobei die einzelnen eine geringe Größe nicht überschreiten. Immerhin kommt es auch bei ihnen zu einer Vermehrung der organischen Masse. Wenn ein Spalt- oder Sprosspilz in kurzer Zeit Billionen gleicher Pilze erzeugt, so ist die in diesen angesammelte Masse organischer Stoffe kaum geringer, zuweilen sogar größer als die in gleichen Zeiten durch das Wachstum eines Baumes erzeugte.

2. Größerer Stoffverbrauch bei Tieren.

2. Tiere dagegen verwenden im höchsten Falle geringe Bruchteile der aufgenommenen Nahrung zum Wachstum ihrer Leibessubstanz. Bei vollständigem Stoffwechselgleichgewicht (Kap. 15, § 3) verlässt den Tierkörper eine der aufgenommenen Nahrung gleiche Menge von Stoffen. Giebt man einem Tier mehr Nahrung, als zur Erhaltung des Stoffwechselgleichgewichts erforderlich ist, so kann es allerdings auch einen Teil dieser überschüssig aufgenommenen Nahrung zur Vergrößerung seiner Körpermasse oder zur Erzeugung neuer Individuen verwenden. Aber gleichzeitig steigen doch auch

seine Ausgaben. In der Regel geschieht das nicht ganz in demselben Maße, wie die Nahrung zugenommen hat, auch nicht gleichmäßig für die drei Arten der organischen Nahrungsstoffe. Am beträchtlichsten ist die Steigerung der stickstoffhaltigen Ausscheidungsprodukte, des Harnstoffes und der ihm ähnlichen Stoffe; in geringerem Grade wird die Ausgabe des Kohlendioxyds und des Wassers gesteigert. Die stickstofffreien Verbindungen, Kohlenhydrate und Fette, können im Tierkörper bis zu einem gewissen Grade zurückgehalten werden, die stickstoffhaltigen Proteinstoffe weniger. Infolge davon kann ein so genährtes Tier an Gewicht zunehmen. Die Zunahme fällt fast ausschließlich auf die stickstofffreien Stoffe, welche in Form von Glykogen hauptsächlich in der Leber und in Form von Fett überall im Körper, besonders unter der Haut und in der Bauchhöhle als sogenanntes Fettgewebe abgelagert werden. Man bezeichnet dies, wenn es absichtlich bei den zum Schlachten bestimmten Tieren geschieht, als Mästung. Wenn man umgekehrt ein gut genährtes Tier hungern lässt, so schwindet das in seinem Körper abgelagerte Fett und Glykogen bis auf kleine Reste; erst, wenn diese zum größten Teil aufgezehrt sind, werden die Proteinstoffe in stärkerem Maße in Anspruch genommen. Lässt man einen gut genährten Pflanzenfresser hungern, so nimmt anfänglich die Ausscheidung des Harnstoffes ab bis zu einem gewissen Minimum, auf welchem sie einige Zeit verharrt. Sobald aber fast alles Fett und Glykogen aufgezehrt ist, steigt plötzlich die Ausscheidung von Harnstoff erheblich an, weil jetzt das Tier gezwungen ist, von seinen Proteinstoffen so viel zu verbrennen, als zur Erhaltung der Lebensfunktionen erforderlich ist. Man hat deshalb mit Recht gesagt, ein hungerndes Kaninchen sei ebenso gut ein Fleischfresser wie ein Löwe. [1])

3. Was die Tiere an organischen Stoffen aufnehmen, stammt unmittelbar oder mittelbar aus der Pflanzenwelt. Pflanzenfresser nehmen die in den Pflanzen aufgespeicherten Stoffe auf; diese wandern, in mannigfacher Art modifiziert, aber doch im wesentlichen in gleicher Zusammensetzung, in diejenigen Tiere über, welche jene Pflanzenfresser verzehren. Die Stoffe können dann unter Umständen durch die Leiber mehrerer Tiere hindurchwandern. Schließlich werden alle von den Tieren aufgenommenen Stoffe, von welchen der größte Teil aus dem Pflanzenreich stammt, mit Sauerstoff verbunden, in Gestalt von Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff wieder aus den Tierleibern ausgeschieden. Sie kehren nach mehr oder

3. Kreislauf der Stoffe.

[1]) Derartige Untersuchungen sind bisher fast ausschließlich an Säugetieren, einige an Vögeln angestellt worden. Es würde sehr erwünscht sein, sie auch auf andere Tierklassen auszudehnen.

minder verschlungenen Wanderungen, zum Teil, wie wir sehen werden, erst nach allerlei Umwandlungen wieder zu den Pflanzen zurück und werden von neuem zum Aufbau von Proteinstoffen, Fetten, Kohlenhydraten verwendet. Das Gleiche gilt von den Stoffen, welche in den Leichen von Tieren und Pflanzen sowie in abgeworfenen oder sonstwie verloren gegangenen Teilen lebender Wesen enthalten sind; immer kommen ihre Endprodukte schließlich in eine Form, in welcher sie Pflanzen zur Ernährung dienen können. Es besteht demnach ein regelmäßiger Kreislauf der Stoffe, wie ihn das folgende Schema in seinen wesentlichen Punkten darstellt.[1])

Tiere		Pflanzen
nehmen O aus der Luft,	←«	geben O an die Luft ab,
Proteinstoffe, Fette, Kohlenhydrate, Wasser und Salze als Nahrung auf,	←«	bilden aus unorganischem Material Proteinstoffe, Fette, Kohlenhydrate, welche mit den aufgenommenen Salzen und Wasser gespeichert werden, um dann Tieren zur Nahrung zu dienen,
geben Wasser, Salze und N-haltige Exkrete	»→	nehmen ausserdem N, Salze und Wasser aus dem Boden
sowie		und
CO_2 an die Luft ab	»→	CO_2 aus der Luft auf.

Wir wir gesehen haben, kann man bei Tieren durch Vergleichung aller Einnahmen und Ausgaben unter Berücksichtigung etwaiger Gewichtsveränderungen eine Stoffwechselbilanz aufstellen. Auf die eine Seite stellt man das Gewicht des Tieres zu Anfang des Versuches und alle Einnahmen (eingeatmeten Sauerstoff und Nahrung), auf die andere Seite das Endgewicht des Tieres und alle Ausgaben (ausgeatmetes Kohlendioxyd, Harn etc.). Die Summen müssen dann auf beiden Seiten gleich sein. In Fällen vollkommenen Stoffwechselgleichgewichts (Kap. 15, § 3) sind auch die auf beiden Seiten des Bilanzkontos stehenden Mengen von N, C u. s. w. einander gleich. Wir können daraus schließen, dass wie bei allen anderen chemischen Prozessen so auch bei dem Lebensprozess eines Tieres die absolute Menge der einzelnen Stoffe nicht verändert wird, dass zwar Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff u. s. w. in anderen chemischen Verbindungen den Tierkörper verlassen, als sie in ihn eintreten, dass aber die Menge eines jeden Stoffes während seines Aufenthalts im Tierkörper weder vermehrt noch vermindert wird.

[1]) Die Pfeile geben die Richtung an, in welcher die Bewegung der Stoffe stattfindet.

Analoge Versuche lassen sich unter Berücksichtigung der abweichenden Verhältnisse auch an Pflanzen anstellen. Wenn wir eine junge Pflanze (einen Steckling) in Wasserkultur heranwachsen lassen (vgl. Kap. 15 § 4), indem wir ihm alle zu seiner Ernährung notwendigen Stoffe neben genügender Belichtung gewähren, so kann die Pflanze ein beträchtliches Gewicht erreichen. Bestimmen wir die Menge von Salzen, Wasser, Kohlendioxyd, welche sie aufgenommen hat, und ebenso die des abgegebenen Wassers und Sauerstoffes, so wird die Differenz dieser beiden Summen gleich der Gewichtszunahme der Pflanze sein. Wenn wir eine genaue Analyse der Pflanze machen, so werden wir finden, dass auch von jedem einzelnen Element, Kalium, Phosphor, Stickstoff u. s. w. sich gerade so viel in ihr vorfindet, als sie aus dem Wasser, und so viel Kohlenstoff, als sie aus der Luft aufgenommen hat. Der Unterschied von den Tieren besteht also nur darin, dass die einmal in die Pflanze eingetretenen Stoffe längere Zeit, manche während der ganzen Dauer des Lebens, in ihr verweilen.

4. Pflanzen und Tiere können also weder Stoffe in sich erzeugen, noch gehen Stoffe in ihnen verloren. Das allgemeine Grundgesetz von der Konstanz der vorhandenen Materie gilt auch für die lebenden Wesen. 4. Unveränderlichkeit der Materie.

Es ist aber mehr als wahrscheinlich, dass das, was für ein einzelnes Tier und eine einzelne Pflanze giltig ist, auch für die Gesamtheit aller Tiere und aller Pflanzen gilt. Wenn es auch unmöglich ist, jedes einzelne Partikelchen Kohlenstoff, Stickstoff u. s. w. zu verfolgen von dem Augenblick an, da es eben einen Tierkörper verlässt, bis zu dem, in welchem es nach allerlei Umwandlungen in eine Pflanze eintritt, um dann, etwa in Gestalt von Protein, wieder von neuem einem Tier zur Nahrung zu dienen, so haben wir doch nicht den mindesten Grund zu der Annahme, es könnte auf diesen Wegen eine Veränderung der Masse eines dieser Stoffe eingetreten sein.

So kann also nicht nur das Verhalten jedes einzelnen Tieres oder jeder einzelnen Pflanze, sondern auch das Verhältnis der Gesamtheit aller Tiere und aller Pflanzen zueinander unter dem Gesichtspunkt des Gesetzes von der Unveränderlichkeit der Materie aufgefasst werden. Wie verschlungen auch die Wege sein mögen, welche ein Partikelchen von Kohlendioxyd, das in einem gegebenen Augenblick irgend ein Tier verlässt, einschlägt, wir dürfen uns für überzeugt halten, dass es nicht zu Grunde geht, sondern irgendwo und nach irgendwelcher Zeit von einer Pflanze aufgenommen und zerlegt wird. Sein Sauerstoff geht in die Atmosphäre, um wieder irgend einmal von einem Tier eingeatmet und

zur Kohlendioxydbildung verwendet zu werden. Sein Kohlenstoff wird in der Pflanze mit Wasserstoff, Sauerstoff und eventuell Stickstoff zu organischer Substanz vereinigt, um vielleicht nach Jahren wiederum Teil eines anderen lebenden Wesens zu werden. Wir dürfen diese Überzeugung haben, weil überall da, wo wir die Schicksale der in eine Pflanze oder in ein Tier ein- oder aus diesen austretenden Stoffe verfolgen können, wir stets finden, dass die in ihnen enthaltenen Elemente ihrer Natur und ihrer Masse nach unverändert durch den lebenden Organismus hindurchgehen. Wenn eine Thatsache in streng exakter Weise so häufig festgestellt und wenn keine einzige Ausnahme von diesem Verhalten je beobachtet worden ist, so dürfen wir nach den logischen Grundlagen unserer Wissenschaft annehmen, dass es sich um ein allgemein giltiges Gesetz handelt.

Diese Annahme wird auch bestätigt, wenn wir untersuchen, was eintreten müsste, wenn die Unveränderlichkeit der Materie im Bereich des organischen Lebens nicht Geltung besäße. Wir wissen aus paläontologischen Thatsachen, dass pflanzliches und tierisches Leben schon seit ungeheuren Zeiträumen auf der Erde besteht, seit Zeiträumen, die sich mindestens nach Millionen, wahrscheinlich nach Hunderten von Millionen Jahren bemessen. Wäre es möglich, dass von irgend einem Stoff, z. B. Kohlenstoff, innerhalb des Tier- oder Pflanzenkörpers in einem Jahre auch nur einige Kilogramm neu erzeugt oder vernichtet würden, so müsste dieser Stoff im ersteren Falle im Laufe jener unermesslichen Zeiträume ins Ungeheure vermehrt, im anderen Falle auf ein Minimum reduziert sein. Nun lagern bekanntlich in unserer Erde sehr große Massen von Kohlenstoff, welche nachweislich organischen Ursprungs sind. Aber trotz ihrer Größe besteht doch kein Grund anzunehmen, dass ihre Masse nicht aus dem Kohlendioxyd der damals die Erde umgebenden Atmosphäre entnommen und auf die gleiche Weise, wie das auch heute geschehen könnte, abgelagert worden sei. Denn damals wie heute lebten Tiere und Pflanzen nebeneinander; letztere konnten also ihren Kohlenstoff aus dem Kohlendioxyd gewinnen, welches die Tiere abgaben. Wenn aber andererseits der Kohlenstoffvorrat abgenommen hätte, so wäre um so weniger zu verstehen, warum er in jenen ungeheuer langen Zeiträumen nicht ganz aufgezehrt worden sein sollte. Ganz dasselbe gilt auch für jeden anderen Stoff. Gerade die Thatsache, dass der Bestand der Lebewesen mit einem fortwährenden Wechsel der Stoffe verbunden ist, dass dieselben Stoffe aus dem Pflanzenreich in das Tierreich und aus diesem wieder in jenes übergehen, belehrt uns nicht nur darüber, wie der Bestand der gesamten Lebewelt unter der Voraussetzung

der Konstanz der Materie gesichert ist, sondern erscheint auch als eine Bestätigung der Richtigkeit dieses Gesetzes in größtem Maßstabe, als eine großartige Ergänzung zu den einzelnen, in kleinerem Maßstabe ausführbaren Versuchen, welche zur ersten Begründung des Gesetzes geführt haben.

Es muss offenbar für unsere Auffassung von den Naturerscheinungen im allgemeinen und von den Erscheinungen und Vorgängen in den lebenden Wesen insbesondere von grundsätzlicher Bedeutung sein, wenn wir zu der Überzeugung gelangen, dass die großen Grundgesetze, welche aus den Vorgängen der unbelebten Natur abgeleitet sind, auch für die Vorgänge in den lebenden Wesen Geltung haben. Zu welchen Vorstellungen über das wahre Wesen der Lebenserscheinungen wir auch immer im Laufe unserer Untersuchungen gelangen werden, immer wird die Einsicht, dass die Materie, aus der die Organismen sich zusammensetzen, dieselben Grundeigenschaften behält, die sie auch außerhalb der Lebewesen hat, dass die Lebensvorgänge nichts an diesen Grundeigenschaften der Materie ändern, einen maßgebenden Einfluss auf unsere Auffassung von dem Wesen der Lebensvorgänge ausüben müssen.

5. Symbiosen von Pflanzen und Tieren.

5. Die wichtigen Beziehungen zwischen der Tier- und Pflanzenwelt, welche wir im großen Haushalt der Gesamtheit beider Reiche auf der Erde erkannt haben, gelten auch für weniger zahlreiche, in einem beschränkten Raume miteinander lebende Wesen. Wollen wir Tiere in abgeschlossenen Räumen am Leben erhalten, so müssen wir ihnen nicht nur Nahrung zuführen, sondern auch für den Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes und Entfernung des ausgeatmeten Kohlendioxyds sorgen. Geschieht letzteres nicht, so ersticken die Tiere; ist die Nahrungszufuhr ungenügend, so verhungern sie. Sobald aber Tiere und Pflanzen in geeigneter Weise beisammen sind, können beide zusammen ihr Leben erhalten, selbst wenn sie gar keine Stoffe von außen aufnehmen oder nach außen abgeben können.

Erstickung kann selbst dann schon eintreten, wenn gar kein wirklich luftdichter Abschluss stattfindet, z. B. wenn man einen Vogel am Boden eines engen, hohen Cylinderglases hält. Auch Wassertiere, welche in Aquarien gehalten werden, sind oft der Erstickungsgefahr ausgesetzt, wenn der nur an der Oberfläche des Wassers mögliche Gasaustausch zwischen diesem und der atmosphärischen Luft nicht ausreicht, den von den Tieren aufgenommenen Sauerstoff schnell genug zu ersetzen und das von ihnen ausgegebene Kohlendioxyd zu entfernen. Man muss daher, um die Tiere gesund zu erhalten, das Wasser öfter erneuern oder einen fortwährenden Luftstrom durch dasselbe treiben. Ebenso muss man, wenn man Lufttiere in ganz oder fast ganz geschlossenen Käfigen halten

will, die Käfige fleißig lüften oder noch besser einen stetigen Luftstrom durch dieselben streichen lassen.

Wassertiere, welche in Aquarien gehalten werden, gedeihen viel besser, wenn im Wasser zugleich grüne Wasserpflanzen wachsen. Ist das Wasser genügend belichtet, so zerlegen die Pflanzen das von den Tieren erzeugte Kohlendioxyd und geben Sauerstoff ab, welchen die Tiere zum Atmen gebrauchen. Wenn die Menge der Pflanzen in richtigem Verhältnis zu der Anzahl der Tiere steht, und wenn außerdem die Pflanzen so gewählt werden, dass die Tiere sich von ihnen nähren können, so ist theoretisch eine solche Vereinigung von der Außenwelt ganz unabhängig. Man könnte den Behälter luftdicht absperren und hätte im Kleinen, was die Bewohner der Erde im Großen darstellen, eine Welt im Glase, wie es LIEBIG genannt hat.

In sehr lehrreicher Weise wird die gegenseitige Abhängigkeit von Tieren und Pflanzen durch das Zusammenleben von Algen mit Amöben, Infusorien, Polypen und Würmern erläutert. Man findet bei diesen Tieren nicht selten Einschlüsse, welche echtes Chlorophyll enthalten, oder auch einen der anderen, dem Chlorophyll physiologisch gleichwertigen Farbstoffe. Diese Tiere zerlegen deshalb unter der Einwirkung von Licht Kohlendioxyd und machen oft mehr Sauerstoff frei, als sie selbst bei ihrer Atmung verbrauchen, so dass sie, wie echte Pflanzen, im Lichte Sauerstoff ausgeben. Anfangs glaubte man, dass die Tiere das Chlorophyll erzeugen. Es ist aber nachgewiesen worden, dass die Chlorophyllkörnchen von außen in die Tiere gelangen. Sie liegen nicht frei in der Leibessubstanz der Tiere, sondern sind von einer eigenen Protoplasmamasse und meistens noch von einer Cellulosehülle umgeben, haben auch immer einen eigenen Kern. Es sind einzellige Algen, welche von außen in die Tiere hineingekommen sind. Man kann sie durch Druck oder ähnliche Manipulationen aus den Tieren nach außen befördern; sie leben dann weiter, solange die nötigen Ernährungsbedingungen erfüllt sind. Sie bleiben auch am Leben, wenn die Tiere, in denen sie vorkommen, gestorben sind. Sie vermehren sich durch Teilung oder durch Sporen wie andere Algen.

Die Einwanderung der Algen in die Tiere erfolgt, wo ein Darmkanal vorhanden ist, von diesem aus; die Tiere fressen die Algen. Die meisten Algen gehen dabei freilich zu Grunde, einige bleiben aber am Leben, gelangen unversehrt durch die Darmwand in die Leibessubstanz ihres Wirtes und so allmählich bis zum Ektoderm, wo sie sich einnisten. Ist dies geschehen, dann leben Tier und Pflanze in einer Art von Genossenschaftsverhältnis, aus welchem beide Genossen Vorteile ziehen. Man nennt ein solches Zusammenleben Symbiose. In dem hier betrachteten Fall erhalten

die Pflanzen von dem Tier Kohlendioxyd, Mineralstoffe und stickstoffhaltige Zersetzungsprodukte und bauen daraus unter dem Einfluss des Lichtes organische Stoffe auf. Die Tiere dagegen leben ganz oder doch zum Teil auf Kosten der von den Pflanzen bereiteten Stoffe und atmen den von den Pflanzen abgespaltenen Sauerstoff. Solche Tiere brauchen daher meistens gar nicht zu fressen. Bei Infusorien, welche Algen beherbergen, sieht man wohl, dass ein Wasserstrudel durch die Wimperbewegung in das Tier hineinströmt, feste Nährstoffe brauchen aber nicht in dem Wasser enthalten zu sein. Die Tiere leben deshalb auch in filtriertem Wasser lange Zeit, ja sie gedeihen sogar in solchem Wasser besser als in nicht filtriertem, während andere Infusorien in filtriertem Wasser wegen Nahrungsmangel zu Grunde gehen. Ein solches Tier mit seinen eingeschlossenen Algen stellt also die Beziehungen, welche zwischen der Gesamtheit der Pflanzen und Tiere bestehen, ganz im Kleinen dar.

Ähnlich ist das Genossenschaftsverhältnis bei den sogenannten Flechten, Gebilden, in welchen sich Algen und Pilze zu gemeinsamem Leben vereinigt haben. Lange Zeit hat man die Flechten als eine besondere Pflanzenklasse von den Pilzen und Algen unterschieden, bis der Nachweis geführt wurde, dass es Algen sind, welche auf und in Pilzen leben und von den Pilzfäden umwachsen sind, dabei aber ihre Selbständigkeit bewahren. Chlorophyllfreie Pilze ernähren sich im wesentlichen nach Art der Tiere. In der Flechte gewährt der Pilz dem Genossen Wohnplatz, Kohlendioxyd und Stickstoff; die Alge dagegen ernährt den Pilz durch die von ihr erzeugten organischen Stoffe. Deshalb ist auch diese Genossenschaft in hohem Grade von der Außenwelt unabhängig. Während Pilze sonst nur auf organischer Grundlage gedeihen, leben die Flechten auf felsigem Gestein, sterilem Sand, ja sogar auf Eis. Sie stellen an manchen Stellen der Erde die einzige Vegetation dar; in den Polargegenden und in den Schnee- und Felsregionen der Gebirge, wo nichts anderes gedeiht, sind oft weite Flächen mit Flechten bedeckt. Wenn sie auf organischem Boden, z. B. auf Baumrinden wachsen, so nehmen sie von diesen doch nur die mineralischen Bestandteile in Anspruch. Da sie auch am härtesten Gestein zu haften vermögen, machen sie die Mineralstoffe für sich und mittelbar für andere Lebewesen nutzbar. Sie bereiten aus Mineralien, aus Wasser und dem Kohlendioxyd der Luft beträchtliche Mengen organischer Substanz, welche wieder Tieren zur Nahrung gereichen können, und bilden endlich, wenn sie absterben, Humus, in welchem wieder andere Pflanzen Wurzel schlagen können.

6. Eine Welt im Kleinen stellt bis zu einem gewissen Grade auch jeder abgeschlossene Landbezirk, ein großes Gut z. B., mit

6. Bedeutung der Düngung.

allen seinen Bewohnern, Tieren und Pflanzen, dar, falls aus ihm und in ihn nichts aus- und nichts eingeführt wird. Die Menschen und Tiere des Gutes leben von den Erzeugnissen des Bodens. Entweder verzehren sie die Pflanzen, die dort wachsen, unmittelbar, oder sie ernähren sich mittelbar von ihnen, indem sie das Fleisch der Tiere essen, welche jene Pflanzen verzehrt haben. Zum Aufbau ihrer organischen Substanzen mussten die Pflanzen Kohlendioxyd aus der Luft[1]), Wasser und Salze, insbesondere stickstoffhaltige, aus dem Boden aufnehmen. Die Menge der aufgenommenen Salze ist zwar gering; aber schließlich müsste doch ein Zeitpunkt kommen, wo der Boden zu arm an diesen Stoffen wäre, um die Ernährung der Pflanzen zu ermöglichen. Um dies zu verhindern, müssen ihm durch Düngung die Salze, vor allem der Stickstoff, wieder zurückgegeben werden.

Von der in den Tierkörper eingeführten Nahrung wird ein kleiner Teil nicht resorbiert, sondern mit dem Kot unverändert wieder ausgeschieden. Von dem resorbierten Anteil werden Kohlenhydrate und Fette zu Kohlendioxyd und Wasser verbrannt; die Proteine liefern neben Kohlendioxyd und Wasser noch Harnstoff und diesem verwandte stickstoffhaltige Verbindungen, welche mit dem Harn den Körper verlassen.

Endlich gelangen auch alle mit der Nahrung aufgenommenen anorganischen Salze nach Verlauf einiger Zeit aus dem Tierkörper wieder nach außen. Werden alle in fester oder flüssiger Form von allen auf dem Gute lebenden Menschen und Tieren ausgeschiedenen Stoffe wieder auf den Acker gebracht, so erhält der Boden alles an Salzen und Stickstoff wieder, was er verloren hat; er kann von neuem Pflanzen produzieren.[2])

---

[1]) Da die über der Bodenfläche eines Gutsbezirkes befindliche Atmosphäre nicht abgeschlossen ist und durch die Winde stets mit der Luft der ganzen Erdoberfläche gemischt wird, so steht den Tieren immer Sauerstoff, den Pflanzen immer Kohlendioxyd zur Verfügung, ohne dass diese an Ort und Stelle selbst ihren Ursprung zu haben brauchen. Auch Wasser wird dem Boden als Regen u. s. w. von außen zugeführt. Die folgende Erörterung bezieht sich deshalb nur auf die festen Stoffe.

[2]) In den obigen Auseinandersetzungen wurde, dem vorliegenden Zwecke entsprechend, nur die Hauptseite der Düngung, Ersatz des Stickstoffes und der Salze, beachtet. Dass sie noch in anderer Weise, z. B. durch Auflockerung des Bodens günstig für den Pflanzenwuchs wirken kann, musste, als nicht zu dem zu verfolgenden Gedankengang gehörig, unberührt bleiben. In welcher Weise die Verhältnisse sich verschieben, wenn der Gutsbezirk nicht geschlossen ist, sondern wenn Bodenprodukte direkt (Getreide, Gemüse, Obst) oder indirekt (Tiere oder Tierteile, Fleisch, Wolle) ausgeführt werden, ist leicht zu verstehen. Es müssen Mineralsubstanzen, insbesondere Kalium, Phosphorsäure und Stickstoff in passenden Formen als Düngemittel eingeführt

Bei diesen Betrachtungen über den Kreislauf der Stoffe zwischen der Tier- und der Pflanzenwelt haben wir jedoch einen sehr wichtigen Umstand ganz außer acht gelassen. Nicht alle von den Tieren ausgegebenen Stoffe können in der Form, in welcher sie ausgeschieden werden, ohne weiteres von den grünen Pflanzen verwertet werden. Das kann nur mit dem Wasser, dem Kohlendioxyd und den Mineralsalzen geschehen. Der größte Teil des Stickstoffes, welcher als Harnstoff oder in Gestalt anderer organischer Verbindungen ausgeschieden wird, sowie die mit dem Kot ausgeschiedenen, nicht resorbierten Reste der aufgenommenen Nahrung, also das, was man im engeren Sinne hauptsächlich Dünger nennt, ferner alle abgestorbenen und abgestoßenen Teile lebender Wesen, Haare, Hörner, Klauen, Borke, abgebrochene Zweige, abgefallenes Laub u. s. w., bedürfen erst bestimmter chemischer Umwandlungen, um von grünen Pflanzen zur Neubildung lebender Substanz verwertet zu werden. Ohne diese Umwandlungen würden sie dem Kreislauf der Stoffe entzogen werden. Sie würden sich massenhaft ansammeln, der Lebewelt aber würde ein von Jahr zu Jahr steigender Verlust erwachsen, der schließlich zu völligem Erlöschen alles Lebens führen müsste.

Hier greifen andere Organismen in der mannigfachsten Weise in den Kreislauf der Stoffe ein. Allerlei Tiere, Würmer, Insekten und deren Larven, auch höhere Tiere, darunter manche Säugetiere, verschmähen die geringen Mengen organischer Stoffe nicht, welche noch unverändert in Abfällen aller Art enthalten sind; sie vollenden, was Menschen und wählerischere Tiere begonnen haben, die Umwandlung jener Stoffe in Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff. Zur Ergänzung der Vorgänge, welche den vollständigen Kreislauf der Stoffe ermöglichen, tragen aber das meiste chlorophyllfreie Pflanzen, namentlich Bakterien bei. Sie bemächtigen sich der tierischen Exkrete und anderer Abfälle, bereiten in geringem Maße direkt aus ihnen wieder höher zusammengesetzte Körper von der Art der Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette; den größten Teil aber zersetzen sie noch weiter derart, dass die Zersetzungsprodukte für die Ernährung grüner Pflanzen tauglich und in diesen von neuem zu Nahrungsstoffen für Tiere umgeformt werden.

7. Die chlorophyllfreien Pflanzen bestehen im wesentlichen aus denselben Stoffen wie die chlorophyllhaltigen: Proteinstoffen, 7. Chlorophyllfreie Pflanzen.

werden. Für Wasser und Kohlenstoff bedarf es keines Ersatzes, da die Atmosphäre für sie sorgt. Durch reichliche Einfuhr von Düngemitteln kann der Bodenertrag so weit über den Bedarf der Gutsbewohner gesteigert werden, dass er die Ausfuhr von Bodenprodukten und ihrer mittelbaren Erzeugnisse (Tiere und Tierteile) bis zu einem gewissen Grade gestattet.

Fetten, Kohlenhydraten, Salzen und Wasser. Sie bedürfen zu ihrer Ernährung derselben Elemente: C, H, O, N, K, Ca, Mg, Fe, S, P. Da sie Kohlendioxyd nicht zu zerlegen vermögen, so muss ihnen der Kohlenstoff in Form passender organischer Verbindungen geboten werden.[1]) Den zum Aufbau der Proteinstoffe erforderlichen Stickstoff vermögen einige nur aus organischen, andere auch aus anorganischen Stickstoffverbindungen zu entnehmen. Einige können sogar freien Stickstoff dazu verwerten.

Nährstofflösungen, in welchen fast alle chlorophyllfreien Pflanzen gut gedeihen, werden nach den Vorschriften von PASTEUR (I) und FERD. COHN (II) in folgender Weise zusammengesetzt:

I. PASTEUR'sche Lösung	II. COHN'sche Lösung
10 g Ammoniumtartrat	5 g Kaliumphosphat
100 g Kandiszucker und	5 g Magnesiumsulfat
die Asche von	10 g Ammoniumtartrat
10 g Hefe	0,5 g tertiäres Calciumphosphat
auf 1 l Wasser	auf 1 l Wasser

Auf Eisen und andere, wenn auch nicht unbedingt notwendige, so doch nützliche Stoffe ist keine Rücksicht genommen, weil die erforderlichen geringen Spuren derselben im Wasser und in den angewandten Chemikalien schon vorhanden zu sein pflegen. Für die Kultur von Bakterien werden in neuerer Zeit meistens Aufgüsse oder Abkochungen pflanzlicher oder tierischer Massen (Heuinfus, Bouillon u. dgl.) benutzt, welche neben geringen Mengen organischer Stoffe die nötigen Salze enthalten, und denen man nach Bedarf noch andre Stoffe zusetzt. Bakterien, welche atmosphärischen Stickstoff zu verwerten imstande sind, bedürfen nur noch der Zufuhr von Kohlenstoff in Gestalt von Zucker und der Salze von Kalium, Magnesium u. s. w. Für die meisten der hier in Frage kommenden Organismen ist schwach alkalische Reaktion der Nährflüssigkeit günstig. Auch ein geringer Zusatz von Chlornatrium ist in der Regel dem Wachstum und der Entwickelung förderlich.

Die Lebewesen, deren Wirkungen bei der Verarbeitung der nicht unmittelbar von höheren Tieren oder von grünen Pflanzen verwertbaren Stoffe wir jetzt etwas eingehender besprechen wollen, gehören verschiedenen Klassen und Ordnungen an. Meistens sind es niedere Pilze: Spaltpilze oder Bakterien, Sprosspilze und Faden-

[1]) Nur eine Bakterienart kann, soviel bis jetzt bekannt ist, Kohlendioxyd zerlegen und aus dem abgespaltenen Kohlenstoff Protoplasmabestandteile aufbauen. Bei der künstlichen Züchtung der chlorophyllfreien Pflanzen benutzt man als Kohlenstoffquelle in der Regel Zucker, Ameisen- oder Weinsäure und andere ähnliche Verbindungen.

oder Schlauchpilze. Da sie fast ausnahmslos nur mikroskopische Größe haben, werden wir uns gelegentlich auch der Bezeichnung Kleinlebewesen oder Mikroben bedienen.

Für unseren Zweck kommt hauptsächlich die Art und Weise ihrer Ernährung in Betracht. Geschieht dieselbe ausschließlich durch organische Stoffe von der Art der Proteine u. s. w., so unterscheidet sie sich kaum von derjenigen der Tiere. Führen solche Lebewesen Bewegungen aus, so kann man zweifelhaft sein, ob man sie zu den Pflanzen oder zu den Tieren rechnen soll. Das gilt z. B. für die Myxomyceten und manche Flagellaten, welche ebenso oft zu den einen wie zu den anderen gestellt werden.

Von der rein tierischen Ernährung bis zu einer ganz pflanzlichen giebt es alle möglichen Übergänge. Innerhalb einer morphologisch einheitlichen Gruppe niederer Lebewesen können einzelne Arten Chlorophyll führen und sich ganz wie höhere Pflanzen ernähren, andere des Chlorophylls vollkommen entbehren.

Um die Lebensbedingungen der Mikroben genauer kennen zu lernen, ist es notwendig, die in der Natur meist in den mannigfachsten Gemengen vorkommenden Arten voneinander zu trennen. Dazu hat sich die von ROBERT KOCH für das Studium der Bakterien ausgebildete Methode der Züchtung auf fester, durchsichtiger Unterlage, welche die nötigen Nährstoffe enthält, besonders nützlich erwiesen. Die gemischt vorhandenen verschiedenen Arten von Lebewesen werden durch starke Verdünnung der sie enthaltenden Flüssigkeiten möglichst weit voneinander getrennt, sodann die Flüssigkeit in dünner Schicht auf der Unterlage ausgebreitet. Benutzt man Flüssigkeiten, welche schnell erstarren, wie Gelatinelösungen und dergleichen, die man in dünnen Schichten auf horizontale Glasplatten ausgießt, so können die voneinander getrennten Individuen durch ihre meist sehr schnell erfolgende Vermehrung kleine Kolonien von lauter gleichartigen Individuen erzeugen. Durch Übertragen (Impfen) von einer solchen Kolonie auf neue Nährboden gelangt man schließlich zu vollständigen Reinkulturen, deren jede nur eine Art von Individuen enthält.

Um die gute Ernährung und die mit dieser verbundene schnelle Vermehrung zu sichern, müssen der Gelatine die zur Ernährung notwendigen Stoffe zugesetzt werden. Kennt man die Ernährungsbedingungen der zu züchtenden Art schon, so kann man die Auswahl der zuzusetzenden Stoffe danach treffen. Anderenfalls giebt man dem Nährboden eine für fast alle Mikroben dieser Art passende Zusammensetzung nach Art der oben (S. 416) angeführten Nährstofflösungen.

Zur schnellen Entwicklung ist meistens höhere Temperatur günstig. Da Gelatine bei Temperaturen von über 25° flüssig wird, so muss man, wenn höhere Temperaturen benutzt werden sollen, andere Nährböden,

z. B. Gallerte von Agar-Agar (einer aus verschiedenen Tangarten gewonnenen Masse) verwenden. Für manche Kulturen ist auch ein ganz unorganischer Boden aus Kieselsäuregallerte mit Zusatz der nötigen Nährstoffe mit Vorteil angewendet worden.

Sollen anaërobe Bakterien gezüchtet werden (vgl. Kap. 14 § 4), so schließt man die Nährboden in Glasgefäße ein, aus denen man die Luft durch Wasserstoff oder Leuchtgas verdrängt.

Diese Andeutungen werden für das Verständnis des Folgenden genügen. Weiter auf die Technik solcher Versuche einzugehen ist für unsere Zwecke nicht nötig.

8. Chemische Wirkungen der Mikroben.

8. In der freien Natur, in der viele verschiedene Mikroben oder ihre Keimformen, welche erst unter bestimmten Bedingungen in die Lage kommen, sich zu vermehren und ihre spezifischen Wirkungen zu entfalten, nebeneinander auf einen und denselben Nährboden angewiesen sind, ändert sich häufig die Zahl der Individuen verschiedener Arten im Laufe der Zeit. Diejenigen, welche günstige Bedingungen zu ihrer Ernährung und Vermehrung finden, denen die chemische Zusammensetzung des Nährbodens, seine Reaktion, die Temperatur u. s. w. mehr zusagen, verdrängen die anderen nach und nach ganz; manche machen, nachdem die für sie erforderlichen Nährstoffe aufgezehrt oder die ihnen günstigen Bedingungen sonstwie verändert worden sind, anderen Platz, die bis dahin in geringerer Zahl oder nur in ihren Keimformen vorhanden waren. Neue Mikrobenarten oder deren Keime können nachträglich auf einen Nährboden gelangen und können, wenn ihnen die Ernährungsbedingungen zusagen, die dort vorhandenen überwuchern. Auf alle diese Umstände muss geachtet werden, wenn man die Vorgänge in der freien Natur richtig beurteilen will. Das wird um soeher möglich sein, wenn durch die Untersuchungen an Reinkulturen die Lebensbedingungen und die Art der Lebensvorgänge jeder einzelnen Art schon gut bekannt sind.

Solche mit Reinkulturen angestellte Beobachtungen haben ergeben, dass die Mikroben in den chemischen Stoffen, mit denen sie in Berührung kommen, Veränderungen mannigfacher Art hervorrufen. Jeder Mikrobenart kommen besondere, ihr eigentümliche chemische Wirkungen zu, die einen können Proteinstoffe zersetzen, andere auf Kohlenhydrate einwirken u. s. w. In welcher Weise diese Zersetzungen sich vollziehen, werden wir später untersuchen. An dieser Stelle beschäftigen wir uns mit ihnen nur in so weit, als sie auf den Kreislauf der Stoffe Einfluss haben.

Als Endprodukte der Umsetzungen treten zunächst folgende auf: freier Stickstoff, Ammoniak, freier Wasserstoff, Kohlendioxyd, Methan, Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure und Phosphor-

säure. Diese Endprodukte treten nur allmählich auf; zuerst werden allerlei Zwischenprodukte gebildet: aus den Proteinen peptonartige Stoffe, organische Basen, sogenannte Ptomaine u. s. w., aus den Fetten freie Fettsäuren u. a. Einige davon sind flüchtig und bewirken die bei den Zersetzungen auftretenden Gerüche.

Von diesen Stoffen kann nur Kohlendioxyd, Wasser, Schwefel- und Phosphorsäure ohne weiteres, Ammoniak in geringem Grade von grünen Pflanzen zum Aufbau organischer Stoffe verwertet werden. Unter dem Einfluss anderer Bakterien macht aber die Stoffumsetzung weitere Fortschritte. Wenn der atmosphärische Sauerstoff freien Zutritt zu den in Zersetzung begriffenen Massen findet, dann gewinnen die oxydativen Vorgänge die Oberhand und schreiten bis zur Bildung von Kohlendioxyd und Wasser fort. Methan und freier Wasserstoff fehlen dann in den Zersetzungsprodukten. Aus dem Schwefelwasserstoff schlagen gewisse Mikroorganismen (die Schwefelbakterien) Schwefel in ihren Zellen nieder und oxydieren diesen dann zu Schwefelsäure[1]), welche mit den überall vorhandenen Metallen Salze bildet.

Bis zu welchem Grade die Umsetzungen in jedem einzelnen Falle fortschreiten, hängt von der Natur der anwesenden Bakterien, sowie von dem Umstande ab, ob die atmosphärische Luft mehr oder weniger freien Zutritt findet. Bakterien aller Art oder ihre Keime sind in der freien Natur fast überall vorhanden und je nach den vorherrschenden Bedingungen entwickeln sich diejenigen, denen die Bedingungen am günstigsten sind, am zahlreichsten. Am Grunde von stehenden Wässern, auf deren Boden viel in Zersetzung begriffene organische Masse lagert, mangelt es leicht an Sauerstoff. In solchen Fällen erlangen die anaëroben Bakterien das Übergewicht, es entwickeln sich Schwefelwasserstoff und Methan[2]). Ganz ähnlich sind die Verhältnisse im Darm der höheren Tiere, in welchem stets viele aus der Luft stammende, mit dem Speichel verschluckte und mit den Speisen aufgenommene Bakterien vorhanden sind. Neben der eigentlichen Verdauung gehen daher im Darm auch immer Zersetzungen von der eben besprochenen Art vor sich. Der entleerte Kot enthält neben ganz unverdauten und halbverdauten Resten der eingenommenen Nahrung auch Zersetzungsprodukte derselben in wechselnden Mengen. Was innerhalb des Darmes begonnen wurde, wird durch die mitentleerten oder später erst hinzutretenden Mikroben außerhalb des tierischen Organismus weiter fortgesetzt.

[1]) Dieser oxydierenden Wirkung analog ist diejenige der Eisenbakterien, welche die überall vorhandenen geringen Mengen von Eisenoxydulverbindungen in Eisenoxydsalze umwandeln.

[2]) Daher der Name Sumpfgas.

Der tierische Dünger verrottet, wie die Landwirte sagen, und wird dadurch erst für seinen Zweck, die Ernährung grüner Pflanzen, geeignet.

Da von den für den Pflanzenwuchs wichtigen Stoffen des Düngers die Mineralstoffe, hauptsächlich Kaliumsalze und die Phosphate, meist direkt verwertbar sind, so handelt es sich bei dem „Verrotten" in erster Linie darum, den Stickstoff des Düngers nutzbar zu machen. Neben dem Stickstoff der noch unveränderten Proteinstoffe, welcher, wie wir eben erfahren haben, teils in elementaren Stickstoff, teils in Ammoniak umgewandelt wird, kommen noch als Bestandteile des Düngers Harnstoff und die ihm verwandten Stoffe (Hippursäure, Harnsäure u. s. w.) in Betracht. Sie werden zuerst in Ammoniumkarbonat übergeführt. Dies geschieht durch bestimmte Bakterien *(Micrococcus ureae* u. a.), welche Harnstoff unter Wasseraufnahme in Ammoniumkarbonat verwandeln. Aus dem Ammoniak vermögen dann andere, sogenannte Nitritbakterien, salpetrige Säure und aus dieser wieder andere, die Nitratbakterien, Salpetersäure zu bilden[1]).

9. Stickstoffbakterien.

9. Freien Stickstoff können nur einige wenige Bakterien verwerten. Bekannt ist es bis jetzt von *Clostridium Pasteurianum* und den sogenannten Knöllchenbakterien der Leguminosen, *(Bacillus radicicola*, auch *Rhizobium Leguminosarum* genannt). Letztere sind wegen ihrer großen Bedeutung für die Landwirtschaft genauer untersucht worden. Vermutlich giebt es noch andere mit gleicher Eigenschaft, namentlich im Waldboden, welcher ohne Düngung viele Jahre große Mengen organischer Stoffe in seinem Pflanzenbestand ablagert, trotzdem ihm dieser fortwährend Stickstoff entzieht.

---

[1]) Der Übergang von Harnstoff in Ammoniumkarbonat ist ein Hydratationsvorgang. $CO(NH_2)_2 + 2H_2O = CO_3(NH_4)_2$. Ammoniumkarbonat geht bei Gegenwart anderer Säuren in die Ammonsalze dieser Säuren über. Ammonsalze können von grünen Pflanzen als Stickstoffquelle verwertet werden, aber weniger gut als Nitrate.

Die Nitrit- und Nitratbildung beginnt in den Ställen, auf Misthaufen u. s. w. und wird schließlich im Ackerboden zu Ende geführt. Die gebildeten Säuren verbinden sich mit Ammoniak und Kalium zu Salzen. Die Bildung von Kaliumnitrat (Salpeter) aus organischen Stoffen erfolgt an manchen Stellen, an Mauern, in den oberflächlichen Erdschichten, in Höhlen, so reichlich, dass es durch Auslaugen gewonnen und technisch verwertet werden kann. Zuweilen werden auch die Bedingungen zu seiner Bildung absichtlich hergestellt, indem man faulende Substanzen mit Erde, Mauerschutt u. dgl. zu Haufen schichtet und feucht erhält (Salpeterplantagen). Der aus Peru eingeführte Chilisalpeter, welcher nicht aus Kalium-, sondern aus Natriumnitrat besteht, ist wahrscheinlich auch organischen Ursprungs. Dasselbe gilt auch von anderen Mineralien, z. B. dem Raseneisenstein, einem hauptsächlich aus Eisenoxyd bestehenden Gemenge, an dessen Bildung die Eisenbakterien hervorragend beteiligt sind.

An den Wurzeln der Leguminosen (Erbsen, Bohnen, Lupinen, Klee u. s. w.) finden sich unregelmäßige Anschwellungen, die sogenannten Knöllchen. Sie werden durch Bakterien veranlasst, welche durch die Wurzelhaut in das Innere eindringen, sich vermehren, dann die sogenannten Bakteroiden bilden, d. h. allerlei Formveränderungen eingehen und schließlich absterben. Sie entnehmen Stickstoff aus der in den Poren des Bodens befindlichen atmosphärischen Luft, die sonst zu ihrem Wachstum und zur Vermehrung erforderlichen Stoffe, Wasser, Salze und Kohlenstoffverbindungen, teils aus dem Boden, teils aus der Leguminosenwurzel, mit deren Geweben sie in unmittelbarer Berührung sind. Was sie auf diese Weise der Leguminosenpflanze entziehen, zahlen sie ihr reichlich wieder. Denn nachdem sie abgestorben sind, verbraucht die Leguminosenpflanze die in den Bakteroiden aufgestapelte stickstoffhaltige Substanz für ihren eigenen Nutzen. Wenn man mit Wurzelknöllchen besetzte Leguminosenpflanzen in Erde kultiviert, welche genügende Mengen von Kalium und Phosphorsäure enthält, aber wenig oder gar keinen Stickstoff, so gedeihen sie vortrefflich; Zusatz von Stickstoffsalzen zum Boden, welche für alle anderen Pflanzen sehr förderlich sind, hat auf das Wachstum der Leguminosen gar keinen Einfluss. Werden Leguminosenkeimlinge aus Samen gezogen und die Setzlinge in geglühte Erde ausgepflanzt, in welcher natürlich keine lebenden Bakterien enthalten sind, so entstehen keine Knöllchen an den Wurzeln. Die Pflanzen entwickeln sich kümmerlich, selbst wenn sie gut mit Kaliumphosphat und Nitraten begossen werden. Setzt man aber zu dem Boden etwas von knöllchenhaltiger Erde oder Kulturen des *Bac. radicicola*, so wachsen die Pflanzen üppig und geben einen Ertrag, der reich an Stickstoff ist.

Aus alledem geht hervor, dass die Bakterien Stickstoff aufsammeln, welcher zum Teil in die Leguminosenpflanzen übergeht, zum Teil mit den Wurzeln derselben und den an ihnen hängenden Bakteroiden im Boden zurückbleibt. Eine Anpflanzung von Leguminosen hinterlässt deshalb, abweichend von allen anderen grünen Pflanzen, den Boden stickstoffreicher, als er vor der Aussaat war; wenn es ihm nicht an Kalium und Phosphaten fehlt, so kann er, nach Aberntung der Leguminosen, von neuem andere Pflanzen ernähren. Es ist daher bei Mangel an Dünger vorteilhaft, Leguminosen als Vorfrucht vor anderen Gewächsen zu ziehen. Bestellt man nährstoffarmen Boden mit Lupinen, welche abgeerntet oder durch Unterpflügen ganz und gar dem Boden beigemischt werden, so vermag er danach guten Ertrag an anderen Pflanzen zu geben (Gründüngung).

10. Der unter dem Einfluss der verschiedenen Bakterien vor sich gehende Zerfall der organischen Substanzen verläuft in verschiedener Weise, je nach dem Wassergehalt und je nachdem die Luft freien Zutritt findet oder nicht. Bei pflanzlichen Abfallstoffen 10. Vermoderung, Verwesung, Fäulnis.

kommt es auch sehr darauf an, ob die zu zersetzenden Proteinstoffe noch in die schwer zersetzbaren, gegen chemische Einwirkungen aller Art sehr widerstandsfähigen Cellulosehüllen eingeschlossen sind oder nicht. Bei reichlichem Wassergehalt stellt sich gewöhnlich ein Zersetzungsprozess ein, welcher Fäulnis genannt wird. Ist wenig Wasser vorhanden, so bleibt die zerfallende Masse noch reich an allerlei organischen Zwischenprodukten. Man nennt diese Form der Zerlegung Vermoderung; die bei ihr entstehenden Stoffe werden unter dem Namen Huminsubstanzen zusammengefasst. Das aus unzersetzten und mehr oder weniger zersetzten organischen und vielen anorganischen Stoffen bestehende Gemenge, der Humus, dient vielen Tieren und Pflanzen als Wohnort und Nahrungsquelle. Seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften, der Fähigkeit, reichlich Ammoniak zu binden, aus welchem dann durch Einwirkung nitrifizierender Bakterien Nitrite und Nitrate entstehen, verdankt der Humus seine wichtige Rolle beim Pflanzenwuchs. Beimischung von Humus macht den Boden lockerer; solcher Boden kann mehr Wasser aufnehmen und in diesem die für die Pflanzen nützlichen Salze in den obersten Schichten zurückhalten; wegen seiner dunklen Färbung erwärmt er sich stärker unter der Einwirkung der Sonnenbestrahlung u. s. w. Alles das kommt dem Pflanzenwuchs zugute. Zu reichlicher Gehalt an Huminsubstanzen kann aber auch durch Zurückhalten von zu vielem Wasser den Wurzeln schädlich werden[1]).

Zwischen Vermoderung und eigentlicher Fäulnis hält die Verwesung ungefähr die Mitte ein. Sie greift Platz, wenn bei mäßigem Wassergehalt und reichlichem Zutritt von Luft die aëroben Bakterien überwiegen und die durch ihren üblen Geruch hervorstechenden flüchtigen Zwischenprodukte in die Atmosphäre entweichen oder schneller in die letzten Endprodukte der bakteriellen Einwirkung, Kohlendioxyd und Nitrate, übergeführt werden.

Durch die geschilderten Umsetzungen werden also die in den Abfällen enthaltenen organischen Stoffe teilweise zur Ernährung von Mikroorganismen verwendet, zum anderen Teil in Stoffe verwandelt, welche von grünen Pflanzen aufgenommen und zur Herstellung von Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten benutzt werden können. Erst durch diese Umwandlungen wird der Kreislauf der

[1]) Allzu humusreicher Boden muss deshalb durch Beimischung von Sand oder dgl. erst trockener gemacht werden. Da sich in den oberen Schichten des Acker- und Gartenbodens stets aus den absterbenden Pflanzenteilen, den zurückgebliebenen Wurzeln u. s. w. Humus bildet, so wird durch Umpflügen oder Umgraben eine dem neuen Pflanzenwuchs günstige Mischung bewirkt. Damit wird in der Regel Zufuhr von Dungstoffen verbunden und zugleich wird der Zerfall der nach oben gebrachten Stoffe durch den Einfluss von Luft und Wasser begünstigt; der Boden wird, wie der Landwirt sagt, aufgeschlossen.

Stoffe vollständig ermöglicht und damit der Bestand der Lebewesen auf der Erde gesichert[1]).

11. Nach den im Vorhergehenden geschilderten Bedingungen ihrer Lebensweise können wir alle uns bekannten Lebewesen in folgender Weise einteilen: 11. Einteilung der Lebewesen.

1. Echte Pflanzen. Sie besitzen Chlorophyll und zerlegen deshalb im Licht Kohlendioxyd. Sie nehmen Wasser und Salze auf, unter denen Stickstoffverbindungen (Nitrate, weniger gut Ammoniumsalze), Phosphate und Sulfate, sowie Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen nicht fehlen dürfen. Sie bilden aus diesen und dem aus Kohlendioxyd abgespaltenen Kohlenstoff Proteine, Fette und Kohlenhydrate. Sie verbrauchen zur Atmung Sauerstoff und erzeugen Kohlendioxyd, doch überwiegt im Licht die Aufnahme von Kohlendioxyd und Ausgabe von Sauerstoff.

2. Chlorophyllfreie Pflanzen. Aus organischen, stickstoffhaltigen und stickstofffreien Verbindungen oder aus Nitraten und Ammoniumverbindungen bilden sie Proteine, Kohlenhydrate und Fette. Sie atmen Sauerstoff ein und Kohlensäure aus. Nur einige wenige vermögen gasförmigen Stickstoff und Kohlendioxyd direkt zu verwerten.

3. Tiere. Sie können keine organische Substanz aus anorganischen Verbindungen aufbauen, sondern nehmen Proteine, Kohlenhydrate und Fette auf und zerstören sie wieder durch Oxydation. Sie atmen Sauerstoff ein und Kohlendioxyd aus. Als Oxydationsprodukte der Proteine geben sie stickstoffhaltige Körper von der Art des Harnstoffes aus.

Die Lebewesen der zweiten Gruppe können hinsichtlich ihrer Ernährung als eine Zwischenstufe zwischen Pflanzen und Tieren angesehen werden. Sie gleichen in vielen Stücken den ersteren; aber sie können nicht, wie die echten Pflanzen, auf einem Boden leben, welcher nur mineralische Bestandteile enthält.

Es sind aber in dieser Gruppe sehr viele Lebewesen zusammengefasst, welche hinsichtlich der Bedingungen ihrer Lebensweise noch große Verschiedenheiten zeigen. Man kann sie, wenn man von einigen wenigen absieht, die sich, wie grüne Pflanzen, ganz von

[1]) Von allen Endprodukten der durch Bakterien bewirkten Zersetzungen sind es nur zwei, deren unmittelbare Verwertung durch Lebewesen nicht möglich ist, freier Wasserstoff und Methan. Trotzdem findet man diese beiden Gase doch nur in Spuren in der Atmosphäre. Wasserstoff wird wahrscheinlich unter Mitwirkung der elektrischen Entladungen bei Gewittern zu Wasser oxydiert. Aus Methan kann dabei gleichfalls CO_2 und H_2O werden, doch kann diese Oxydation auch durch Mikroben bewirkt werden, wenn es nicht an Sauerstoff fehlt.

anorganischen Stoffen ernähren können, noch weiter in die Untergruppen der Humusbewohner, der Saprophyten und der Parasiten einteilen.

12. Humusbewohner und Saprophyten.

12. Der Humus bietet, wie wir gesehen haben, echten Pflanzen erhebliche Vorteile durch die in ihm reichlich vorhandenen mineralischen Bestandteile. Außerdem gewährt er auch Tieren und solchen Pflanzen gute Ernährungsbedingungen, welche zwar des Chlorophylls nicht ganz entbehren, aber nur kleine, wenig entwickelte Blätter haben, so dass sie einen Zuschuss zu ihrer mineralischen Ernährung durch Aufnahme fertiger organischer Stoffe gut gebrauchen können. Dazu gehören u. a. viele Orchideen sowie die früher schon erwähnten insektenfressenden Pflanzen. Die Mehrzahl der Humusbewohner sind aber chlorophyllfreie Pflanzen, meistens Pilze. Sie können wegen ihres Chlorophyllmangels das Licht entbehren; so bringen viele von ihnen einen Teil ihres Lebens, andere, z. B. die Trüffeln, ihr ganzes Leben unterirdisch zu. Indem sie die halbzerfallenen organischen Stoffe des Bodens wieder in Proteine, Fette und Kohlenhydrate zurückverwandeln, bereiten sie aus jenen gute Nahrung für Tiere und Menschen.

Die grünen, aber chlorophyllarmen Humuspflanzen bedürfen zur Ausnützung der organischen Humussubstanzen vielfach der Mithilfe von Pilzen. Die Pilzfäden ragen zum Teil in die Zellen der Wurzeln hinein, zum Teil befinden sie sich im Boden. Sie machen die aus letzterem aufgenommene Nahrung, soweit sie aus organischen Stoffen besteht, jenen Pflanzen zugänglich. Das Verhältnis ist ähnlich dem früher erwähnten zwischen Leguminosen und dem *Bacillus radicicola*. Auch Koniferen und andere Waldbewohner haben an ihren Wurzeln häufig einen Überzug von Pilzfäden, die sogenannte Mykorrhiza, welcher ihnen in ähnlicher Weise nützlich zu sein scheint.

Gleich dem humosen Boden sind auch die abgestorbenen Teile von Baumrinden und Borken reich an Zerfallsprodukten organischer Substanz. Auf ihnen finden neben anderen niederen Pflanzen und Tieren auch Moose und Flechten einen guten Nährboden.

Den Humusbewohnern nahe stehen in ihrer Ernährungsweise die auf toten Pflanzen und Tieren, Teilen derselben oder auf anderen, organische Stoffe enthaltenden Massen, Zuckerlösungen, Früchten und Fruchtsäften, Abkochungen pflanzlicher und tierischer Substanzen u. s. w., lebenden Saphrophyten. Sie erzeugen in dem Boden, auf welchem sie wachsen, allerlei Umsetzungen. Hierher gehören:

a) Die Schimmelpilze; sie kommen auf Brot, Käse, Fruchtsäften u. s. w. vor. Am bekanntesten sind *Mucor Mucedo*, ein

einzelliger, reich verzweigter Pilz, und das blaugrüne Rasen bildende *Penicillium glaucum*.

b) Die Gärungserreger, meist Sprosspilze, unter denen die den Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd spaltenden Hefe- oder Saccharomycespilze die bekanntesten sind. Sie spielen eine wichtige Rolle in den Gewerben, die sich mit der Bereitung alkoholischer Getränke (Wein, Bier, Branntwein u. s. w.) beschäftigen. Durch sorgfältige Reinzüchtung der verschiedenen Saccharomycesarten und Trennung von den mit ihnen häufig gleichzeitig vorhandenen Bakterien ist man imstande, den Gang der Gärung so zu beeinflussen, dass neben Alkohol und Kohlendioxyd noch andere bestimmte Nebenprodukte, insbesondere gewisse den Geschmack und Geruch bestimmenden Äther entstehen. Bei unreinen Kulturen dagegen, welche verschiedene Hefepilzarten und Bakterien gemischt enthalten, sind die Umsetzungen nicht kontrolierbar. Verunreinigung mit *Bacterium aceti* z. B. bewirkt in gärenden Flüssigkeiten das sogenannte „Umschlagen", die Verwandlung des Alkohols in Essig.

c) Fäulniserreger, meist zur Klasse der Spaltpilze gehörige Bakterien- und Kokkenformen. Sie zerlegen genuine und koagulierte Eiweißkörper derartig, dass anfangs peptonartige Zersetzungsprodukte, dann weitere, zum Teil giftige und durch ihren Geruch auffallende Stoffe entstehen. Als letzte Produkte der Zersetzung treten Kohlendioxyd, Wasser, Ammoniak, Amine, Amidosäuren und Schwefelwasserstoff auf. Von einigen durch die Mikroben dieser Gruppe bewirkten Zersetzungen war schon in Kap. 9 und 10 die Rede.

Diesen Lebewesen ist es also zu verdanken, dass alle diejenigen Stoffe, welche von den Tieren in einer Form abgegeben werden, in welcher sie nicht unmittelbar von grünen Pflanzen aufgenommen werden können oder welche in irgend einer anderen Weise aus dem Bestand organischen Lebens losgelöst werden, ohne direkt von grünen Pflanzen verwertbar zu sein, passend umgeformt un in den grünen Pflanzen wieder zu Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten aufgebaut werden. Ihnen ist es zu verdanken, dass der Kreislauf der Stoffe in der organischen Natur dauernd unterhalten und dadurch der Bestand der Lebewelt gesichert wird. Wenn es nur Tiere und grüne Pflanzen auf der Erde gäbe, so würden die ungeheueren Mengen von Stickstoff, welche die ersteren in Gestalt von Harnstoff abgeben, sich nutzlos anhäufen. Die nitrifizierenden Bakterien aber machen aus Harnstoff Nitrite und Nitrate, welche in den grünen Pflanzen wieder zu Proteinen werden. Ähnlich ist es mit allen anderen Mikroben, deren Wirkungen wir in den vorhergehenden Paragraphen besprochen haben.

13. Parasiten.

13. Es bleibt uns noch übrig, etwas über die parasitischen Lebewesen oder Schmarotzer zu sagen, welche in oder auf anderen Lebewesen ihr Leben zubringen und von diesen, ihren Wirten, ihre Nahrung beziehen. Es giebt verschiedene Grade von Parasitismus. Zuweilen ist das Verhältnis der Art, dass der Parasit sich nur von Abfällen seines Wirtes nährt, und dass er die ihm gewährte Unterstützung durch kleinere oder größere Dienste vergilt, welche er jenem leistet. In solchen Fällen, in denen beide Teile von dem Zusammenleben Vorteile ziehen, geht der Parasitismus in Symbiose über, welche wir bei dem Zusammenleben von Algen und Pilzen in den Flechten, von Algen und Infusorien (vgl. § 5), bei den Wurzelbakterien der Leguminosen (§ 9) sowie den Fadenpilzen der Humusbewohner (§ 12) kennen gelernt haben. Das andere Extrem stellen die Fälle dar, in denen der Parasit dem Leben des Wirtes gefährlich wird, indem er durch seine Anwesenheit mechanisch oder durch seine Stoffwechselprodukte chemisch so störend auf den Wirt einwirkt, dass Krankheit oder Tod desselben die Folge ist.

Die Mehrzahl der pflanzlichen auf oder in Pflanzen und Tieren vorkommenden Parasiten gehört zu den Mikroben; die meisten zu den Bakterien. Sie sind die Erreger der zahlreichen Pflanzen- und Tierkrankheiten. Doch muss man unterscheiden zwischen echten Parasiten, welche nur als solche und zuweilen nur in bestimmten Organismen leben können, und fakultativen Parasiten, welche auch als Saprophyten auf leblosem Material von geeigneter Zusammensetzung fortkommen. Ebenso können manche Saprophyten, wenn sie gelegentlich in lebende Organismen hineingeraten, dort weiter bestehen. Sie erregen dann häufig in diesen örtliche oder allgemeine Erkrankungen. Das gilt besonders von den Fäulniserregern, welche in Wunden Eiterung, Wundfäule und durch die von ihnen erzeugten Zersetzungsprodukte Wundfieber und Blutvergiftung (Pyämie und Septichämie) erregen. Sollen echte Parasiten außerhalb ihres eigentlichen Wirtes gezüchtet werden, so muss man ihnen das geeignete Nährmaterial zur Verfügung stellen. Das gelingt bei einigen leicht, bei anderen schwerer. Den Erreger der Tuberkulose z. B. konnte Koch anfangs nur auf erstarrtem Blutserum, einem der Zusammensetzung des menschlichen Körpers möglichst nahekommenden Nährboden, mit Erfolg züchten und dadurch der weiteren Untersuchung zugänglich machen. Wahrscheinlich giebt es auch echte Parasiten, welche so ausschließlich auf ganz bestimmte Bedingungen der Ernährung angewiesen sind, dass sie bis jetzt überhaupt noch nicht auf künstlichen Nährböden gezüchtet werden konnten, und die uns gerade deshalb noch unbekannt sind.[1])

[1]) Dazu gehören vielleicht die Erreger der akuten Hautkrankheiten, der Blattern, des Scharlach, der Masern u. s. w.

Andere Parasiten wieder sind so auf eine bestimmte Pflanzen- oder Tierart angewiesen, dass sie selbst auf nahe verwandte Arten nicht mit Erfolg übertragen werden können.

Neben den parasitischen Bakterien kommen auch niedere tierische Parasiten (die sogenannten Plasmodien) als Krankheitserreger vor, z. B. bei der Malaria. Aber auch in den höheren Klassen der Tier- und Pflanzenwelt ist parasitische Lebensweise nicht selten. Sogar sehr hochorganisierte Pflanzen und Tiere können auf oder in anderen Lebewesen parasitisch leben, und ebenso ist fast kein Lebewesen ohne Parasiten. Ja viele Parasiten sind selbst wieder von Parasiten bewohnt. Die parasitische Lebensweise hat bei höheren, im Innern anderer Lebewesen existierenden Organismen häufig die Rückbildung aller durch diese Lebensweise unnötig gewordenen Organe zur Folge. Sinnesorgane und Verdauungseinrichtungen fehlen oft; dagegen sind die Organe der Fortpflanzung in der Regel stark entwickelt. Nur dadurch ist die regelmäßige Fortpflanzung, welche durch die parasitische Lebensweise vielfach erschwert ist, hinlänglich gesichert. Ohne diese Einrichtungen wären die meisten von ihnen vielleicht schon längst ausgestorben.

Als Beispiel einer solchen hochgradigen Rückbildung möge die Sacculina carcini dienen. Diese zu der Ordnung der Cirripedien gehörende Crustacee, welche auf Taschenkrebsen schmarotzt, ist zu einem gestielten Sack reduziert. Der Stiel dringt zwischen den Leibesringen in den Krebskörper ein und umspinnt mit reichen Verzweigungen die Eingeweide, aus denen er die flüssigen Säfte als Nahrung aufsaugt. Da Verdauung unnötig ist, fehlt der Sacculina ein Darm vollkommen. Der von einem weichen Mantel eingeschlossene Sack ist fast ganz nur mit Eiern gefüllt. Die Larven schlüpfen durch eine Öffnung des Mantels aus, bohren sich in den Wirt ein, leben eine Zeit lang in dessen Innerem und stülpen dann wieder ihren Sack nach außen.

Von höheren Pflanzen, welche als Parasiten auf anderen Pflanzen leben, erwähne ich den Teufelszwirn, *Cuscuta europaea*, und die Mistel, *Viscum album*. Die Cuscuta windet sich um den Stiel der Wirtspflanze und senkt in dieselbe Saugvorrichtungen, die sogenannten Haustorien (Fig. 101 S. 428) ein, mittels deren sie aus jener ihre Nahrung bezieht. Die ursprüngliche, sehr wenig entwickelte, in der Erde befestigte Wurzel der Cuscuta stirbt ab, während der horizontal fortkriechende Stiel auf Kosten der abgestorbenen Teile weiter wächst. Wenn er eine Wirtpflanze gefunden hat, windet er sich um diese und lebt fortan von den Nährstoffen, welche er durch die in sie eingesenkten Haustorien an sich zieht. *Viscum album* schmarotzt auf verschiedenen unserer Laubbäume und senkt ihre wurzelartigen Saugvorrichtungen zwischen die Rinde und das Holz derselben ein. Da diese Pflanzen die von anderen Pflanzen erzeugten Nährstoffe ausnützen, bedürfen sie des Chloro-

phylls nicht. *Cuscuta* ist fast ganz frei von Chlorophyll, *Viscum* besitzt zwar chlorophyllhaltige Blätter, aber sie sind sehr klein.

14. Verbreitung der Stoffe.

14. Neben den Humusbewohnern und den Saprophyten spielen die Parasiten für die Ermöglichung des Stoffkreislaufes eine untergeordnete Rolle. Wir sind auf sie nur eingegangen, um die Einteilung der Lebewesen nach der Art und Weise ihrer Ernährung zu vervollständigen. Indem wir jetzt zur Betrachtung des Kreislaufes der Stoffe auf der Erde zurückkehren, bleibt uns noch die Aufgabe, zu untersuchen, durch welche Mittel die Stoffe, welche zur Ernährung eines jeden Lebewesens erforderlich sind, an die Orte gebracht werden, an denen sie verwertet werden können.

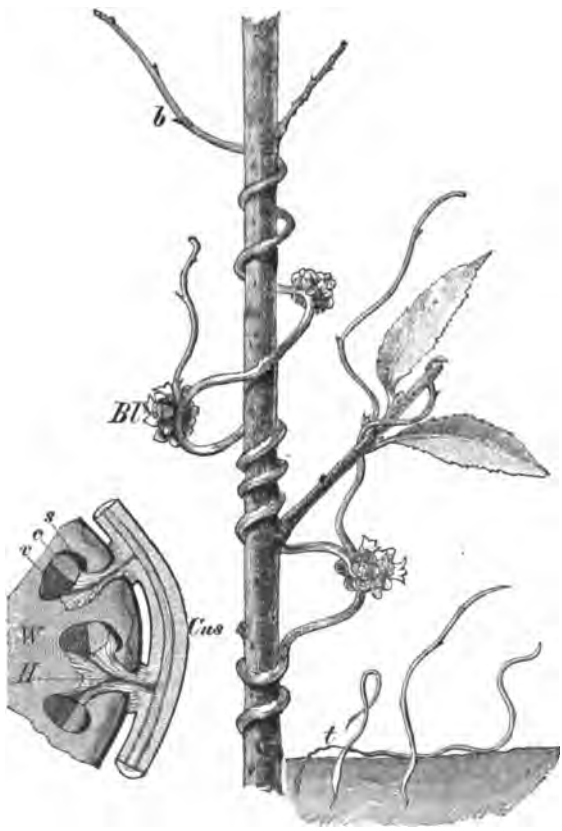


Fig. 101.

Cuscuta europaea. Rechts Keimlinge, der eine auf dem Boden kriechend und fortwachsend, während der ältere Teil bei *t* absterbt. In der Mitte die Schmarotzerpflanze, welche einen Weidenzweig umwindet; *Bl* Blüten, *b* Blättchen. Links ein Teil der Schmarotzerpflanze (*Cus*) mit den in den Weidenzweig (*W*) eingedrungenen Haustorien (*H*). *v*, *c*, *s* die verschiedenen Gewebe der Weide: Vasal- und Cribralteil, Sklerenchym der Gefäße.

Die gasförmigen Stoffwechselprodukte, Sauerstoff und Kohlendioxyd, werden in der atmosphärischen Luft durch die Winde so untereinander gemischt, dass sich der Gehalt der Atmosphäre an jenen beiden Gasen immer auf demselben Stand hält. Deswegen finden die grünen Pflanzen überall, wo die sonstigen Bedingungen für ihre Existenz gegeben sind, genug Kohlendioxyd, die Tiere genug Sauerstoff. Nur an einzelnen Orten, an denen pflanzliches

oder tierisches Leben überwiegt, kann vorübergehend die Zusammensetzung der Luft etwas von der durchschnittlichen abweichen. So findet man in der Mitte großer, enggebauter Städte, in engen, von hohen Mauern umgebenen Höfen, in denen Abfälle der Fäulnis anheimfallen, in von Menschen oder Tieren überfüllten, geschlossenen Räumen einen etwas höheren Kohlendioxydgehalt. Doch steigt er auch in diesen selten über $1\,^0/_{00}$. Reichlicher kann sich Kohlendioxyd anhäufen in Kellern, in welchen größere Mengen zuckerhaltiger Massen vergären, oder in ganz oder nahezu luftdicht abgeschlossenen Räumen, in denen Menschen oder Tiere verweilen. Unsere Wohnzimmer sind niemals gegen die Außenluft luftdicht abgesperrt. Die Diffusion der Gase sowie aus verschiedenen Ursachen entstehende Luftbewegungen, welche ohne oder mit unserem Zuthun immer stattfinden (die sogenannte natürliche und die künstliche Ventilation), sorgen für Austausch der Innen- und Außenluft. So kommt es, dass es Menschen und Tieren auch in geschlossenen Zimmern, Ställen u. s. w. nirgends an Sauerstoff mangelt.

Der Wind ist ebenso auch an der Verbreitung der Mikroben oder ihrer Keime, der durch ihre Thätigkeit entstandenen Produkte sowie der Samen von höheren Pflanzen beteiligt. Viele organische Massen zerfallen, wenn sie eintrocknen, in ein feines Pulver, werden als Staub aufgewirbelt, vom Winde oft auf weite Strecken fortgetragen und an windstillen Stellen abgelagert. Mikroben oder ihre Keime, welche den Staubteilchen anhaften, gelangen mit diesen auf feuchte Unterlagen, können zu neuem Leben erwachen, wachsen und sich vermehren. Samen von Pflanzen sind nicht selten mit eigenen Einrichtungen versehen, welche ihre Verbreitung durch den Wind erleichtern. Andere werden von Tieren verschleppt, sei es, dass sie äußerlich an ihnen hängen bleiben, Kletten z. B., oder dass sie verschluckt und an anderen Stellen wieder entleert werden. Finden sie dort einen ihnen zusagenden Nährboden, so keimen sie und vermehren sich.

Was zu schwer ist, um in der Luft schwebend verbreitet zu werden, wird häufig durch Vermittlung des Wassers fortgeschwemmt; Regen und Schnee lösen Stoffe auf oder reißen ungelöste mit sich fort. An anderen Stellen abgesetzt, finden die Stoffe dort Gelegenheit, ihre Wirksamkeit zu entfalten. Wo endlich diese und andere natürliche Vorgänge nicht ausreichen, da greift der Mensch ein, um die Stoffe von den Orten des Entstehens zu den Orten ihrer Verwendung zu befördern und günstige Bedingungen für ihre Verwertung herzustellen. Indem er den Acker bestellt, passenden Dünger auf ihn bringt, die Pflanzen, von denen er Ertrag haben will, aussät, andere ausjätet und vernichtet, die Erträge der Ernte

sammelt und an die Stellen des Verbrauches bringt u. s. w., thut er das Seinige, um die Vorgänge des Lebens dort zu fördern, wo es ihm nützlich erscheint, und dort zu unterdrücken, wo sie ihm im Wege stehen. Durch alle diese Mittel ist also dafür gesorgt, dass Stoffe, welche zur Erhaltung des Lebens dienen können, nach kürzerer oder längerer Zeit in den Bereich von Lebewesen kommen, welche sie verwerten. So wird der Kreislauf der Stoffe in der Lebewelt, von welchem dieses Kapitel einen kurzen Abriss giebt, stetig unterhalten.

Siebzehntes Kapitel.

Der Energiewechsel der Lebewesen.

1. Als Ergebnis der beiden letzten Kapitel haben wir die Einsicht in den fortwährend stattfindenden Kreislauf der Stoffe zwischen den großen Hauptgruppen der Lebewesen gewonnen. Tiere verzehren fortwährend organische Stoffe und geben hochoxydierte und verhältnismäßig einfach zusammengesetzte Stoffe aus. Grüne Pflanzen erzeugen die sehr zusammengesetzten organischen Stoffe, von denen die Tiere leben, und verwenden die Abfallstoffe, welche bei dem Lebensprozess der Tiere entstehen. Chlorophyllfreie Pflanzen vermitteln diesen Stoffaustausch, indem sie die nicht unmittelbar für die grünen Pflanzen verwertbaren Abfallstoffe des tierischen Lebens und diejenigen Teile von Pflanzen, welche Tieren nicht zur Nahrung gedient haben, teils selbst zu organischen, für die Ernährung von Tieren brauchbaren Stoffen verarbeiten, teils so weit umformen, dass sie wieder zum Aufbau organischer Stoffe in den grünen Pflanzen verwendbar werden. 1. Aufbau und Zersetzung der organischen Stoffe.

Alle von den Tieren ausgegebenen Stoffe sind hochoxydierte Verbindungen von C, H und N mit relativ großen Mengen von O, während die von ihnen aufgenommenen Stoffe einerseits organische Verbindungen mit wenig O, andererseits freier O sind. Die Vereinigung des O mit den O-armen Verbindungen, die Oxydation, findet im Innern des Tierkörpers statt; sie ist ein wesentliches Merkmal der tierischen Lebenserscheinungen.

Wenn ein Tier hungert, so können selbstverständlich die in ihm sich vollziehenden Oxydationen nur auf Kosten seiner Leibessubstanz stattfinden. Lassen wir ein Tier mehrere Tage hungern, so verliert es einen ansehnlichen Bruchteil seiner Körpermasse. Führen wir ihm wieder Nahrung zu, so kann es die verlorene Leibessubstanz wieder ersetzen. In diesem Falle ist also während der Hungerperiode sicher die Oxydation an den Bestandteilen der tierischen Gewebe vor sich gegangen. Dann sind diese durch die zugeführte Nahrung wieder ergänzt und neu hergestellt worden. Auch während der Wachstumsperiode im Jugendzustande, in welchem Tiere weniger

CO_2, H_2O und Harnstoff ausscheiden, als aus der Zersetzung der von ihnen aufgenommenen Nahrungsstoffe hätte entstehen können, wird unzweifelhaft aus einem Teil der aufgenommenen Nahrung neue lebende Substanz gebildet, teils durch Volumszunahme der schon vorhandenen, teils durch Bildung neuer Zellen und derjenigen Gewebsbestandteile, welche nachträglich aus Zellen hervorgehen.

Tiere können also organische, aus der Pflanzenwelt stammende Stoffe zum Aufbau ihrer Leibessubstanz verwerten. Sie können aus Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten tierische Zellen mit allen diesen Zellen eigentümlichen Eigenschaften herstellen. Sie vermögen aber nicht, organische Stoffe aus den Elementen oder aus anderen Stoffen als Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten aufzubauen. Diese Fähigkeit kommt ausschließlich den pflanzlichen Organismen zu und auch diesen in verschiedenem Grade, im höchsten nur denjenigen Pflanzen oder Pflanzenteilen, welche Chlorophyll enthalten. Was diese an organischen Stoffen hergestellt haben, das kann nach seiner Einführung in einen Tierkörper zum Teil in diesem abgelagert werden, zum Teil aber wird es früher oder später durch Oxydation in einfachere Stoffe zerlegt, welche erst wieder, wenn sie in Pflanzen eingewandert sind, in jene hochzusammengesetzten organischen Stoffe zurückverwandelt werden.

2. Oxydation im Tierkörper.

2. Wir sind ohne alle Kenntnis darüber, auf welche Weise die Oxydationen innerhalb des lebenden Protoplasmas zu stande kommen, und ob sie nur im geformten Protoplasma, d. h. solchem, welches der eigentliche Träger der Lebenserscheinungen ist, oder auch in dem dasselbe durchtränkenden Zellsaft oder in der die Zellen umgebenden Flüssigkeit, dem Gewebssaft, Platz greifen können. Wenn ein ausgewachsenes Tier bei ausreichender Nahrung auf seinem Körpergewicht längere Zeit beharrt, so können wir nicht wissen, ob seine Gewebe während dieser Zeit durch die Lebensvorgänge fortwährend zerstört und aus den Bestandteilen der Nahrung wieder ergänzt worden sind, oder ob unter Schonung der Gewebesubstanzen die Bestandteile der Nahrung allein oder doch vorzugsweise durch Oxydation zerfallen sind und die Ausscheidungsprodukte geliefert haben. Eine sichere Entscheidung, welche von diesen Möglichkeiten in Wirklichkeit zutrifft, lässt sich aus den bis jetzt bekannten Thatsachen des Stoffwechsels nicht ableiten.

Wie dem auch sei, so viel steht fest, dass im tierischen Organismus[1]) Einrichtungen bestehen, durch welche die Oxydation der in

[1]) Und auch im pflanzlichen, da im lebenden Protoplasma der Pflanze dieselben Vorgänge, nur in geringerem Grade, stattfinden und nur durch die gleichzeitige Sauerstoffausgabe der grünen Pflanzenteile im Licht verdeckt werden. Vgl. Kap. 14 § 5 das über die Atmung der Pflanzen Gesagte.

Form organischer Nahrungsstoffe eingeführten Proteinstoffe, Fette und Kohlenhydrate herbeigeführt wird unter Bedingungen, unter denen sie außerhalb desselben nicht erfolgen würde. Sollen Fette, Kohlenhydrate, Proteinstoffe außerhalb des tierischen Organismus verbrennen, so müssen sie vorher wasserfrei gemacht und dann auf eine höhere Temperatur gebracht werden. Innerhalb des Organismus aber verbrennen sie im Zustande vollkommener Durchtränkung mit Wasser und bei einer relativ niedrigen Temperatur. Dass dies geschieht, ist eine Wirkung des lebenden Protoplasmas. Damit soll nicht gesagt sein, dass die Erscheinung auf ganz besondere, dunkle „Kräfte", für welche es in der unbelebten Natur gar keine Analogie geben kann, zurückgeführt werden müsse. Über diese und andere ähnliche Fragen kann man Vermutungen äußern; in wissenschaftlich befriedigender Weise beantworten kann man sie aber bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse nicht. Ob die zu oxydierenden Stoffe vorher integrierende Bestandteile des lebenden Protoplasmas geworden sein müssen, oder ob die Wirkung des Protoplasmas sich auch auf eine gewisse Entfernung hin erstrecken kann, derart dass die in der Interzellularflüssigkeit gelösten Stoffe gleichfalls der Oxydation anheimfallen, darüber geben, wie schon gesagt wurde, die Versuche keinen bindenden Aufschluss.

Die in den Organismen stattfindenden chemischen Umwandlungen sind ungemein verwickelt, verlaufen auch in verschiedenen Organen eines und desselben Tieres verschieden. Manche Stoffe entstehen in gewissen Organen und fehlen in anderen ganz und gar. Die verwickelten, bis jetzt nur sehr unvollkommen bekannten chemischen Vorgänge in den einzelnen Organen setzen sich, soviel wir wissen, vorwiegend aus allerlei Oxydationen und Spaltungen, aber auch aus Reduktionen und Synthesen zusammen, auf welche näher einzugehen hier nicht der Ort ist. Wir richten unsere Aufmerksamkeit nur auf die Endprodukte. Da diese mehr Sauerstoff enthalten als die in der Nahrung aufgenommenen Stoffe, so fassen wir der Kürze wegen alle im Tierkörper vor sich gehenden Prozesse unter der Bezeichnung Oxydation oder Verbrennung zusammen.

3. Plastische und respiratorische Stoffe.

3. Das Protoplasma der Zellen ist verhältnismäßig reich an proteinartigen Stoffen. Darum glaubte Liebig einen Unterschied zwischen der Verbrennung der Proteinstoffe einerseits, der Fette und Kohlenhydrate andererseits annehmen zu müssen. Letztere sollten, ohne eigentliche Bestandteile der Gewebe geworden zu sein, zu CO_2 und H_2O verbrennen und dabei die Wärme- und Arbeitsproduktion leisten; erstere dagegen sollten zum Aufbau der Gewebe dienen. Sie sollten gleichsam das Material der organischen Maschine darstellen, welches nicht selbst zur Arbeitsleistung dient, aber in dem

Maße, als es bei dem Lebensprozess abgenutzt wird, durch die gleichen Stoffe der Nahrung ersetzt werden muss. Er nannte deshalb die Proteinstoffe plastische Stoffe oder Gewebsbildner, die Fette und Kohlenhydrate respiratorische Stoffe oder Wärmebildner. Diese Scheidung lässt sich freilich nicht streng durchführen. Fette und Kohlenhydrate sind ebenso wie die Proteinstoffe integrierende Bestandteile des lebenden Protoplasmas, und auch bei der Verbrennung von Proteinstoffen wird Wärme frei und kann Arbeit geleistet werden. Durch sie kann, wie die Versuche an hungernden Tieren nach Aufzehrung des Glykogen- und Fettvorrates lehren, unter Umständen die ganze Wärme- und Arbeitsproduktion bestritten werden. Aber etwas Wahres liegt doch der Liebig'schen Unterscheidung zu Grunde. Denn genügende Zufuhr von Fetten und Kohlenhydraten schützt einen großen Teil der schon gebildeten, vorzugsweise aus Proteinen bestehenden Gewebsmasse vor dem Zerfall, und wenn nur gerade so viel Proteine in der Nahrung zugeführt werden, als unbedingt zum Ersatz der zerstörten notwendig sind, wird jedenfalls weitaus der größte Teil der zur Lebensthätigkeit erforderlichen kinetischen Energie durch Verbrennung von Fetten und Kohlenhydraten geliefert. Nur wenn Proteinstoffe im Überschuss zugeführt werden, wird auch dieser Überschuss sofort oxydiert, dient also zur Produktion von Wärme und Arbeit, während die im Überschuss zugeführten Fette in beträchtlicher Menge im Tierkörper abgelagert werden und überschüssig zugeführte Kohlenhydrate gleichfalls zu Fettansatz führen.

Dieses Verhalten ist um so auffallender, als außerhalb des lebenden Protoplasmas Fette und Kohlenhydrate sich leichter oxydieren als Proteinstoffe. Es ist aber zu beachten, dass wir die chemische Beschaffenheit der im lebenden Protoplasma vorkommenden Proteinstoffe, das, was in Kap. 10 als genuine Proteinstoffe bezeichnet wurde, gar nicht kennen. Diejenigen Stoffe, welche durch chemische Verfahrungsweisen aus lebendem oder schon abgestorbenem Material dargestellt werden, sind wahrscheinlich von den Stoffen, die als Bestandteile des lebenden Protoplasmas die Träger der Lebenserscheinungen sind, verschieden. Jenen unbekannten Stoffen können wir viele Eigenschaften zuschreiben, welche die uns bekannten Stoffe nicht haben. Es fragt sich nur, ob wir mit solchen willkürlichen Annahmen eine tiefere Einsicht in die Thatsachen gewinnen. Ich glaube das nicht und halte es daher für unnötig, auf die Hypothesen, welche über die chemische Beschaffenheit des „lebenden Eiweißes" aufgestellt worden sind, näher einzugehen. Für unseren jetzigen Zweck ist es wichtiger, alles wirklich thatsächlich Festgestellte zusammenzufassen und den Zusammenhang der Erscheinungen soweit aufzuklären, als es durch die Thatsachen möglich erscheint.

4. Bei der Vereinigung der Gewebs- oder Nahrungsbestandteile mit Sauerstoff wird Energie der Lage in Energie der Bewegung umgesetzt. Letztere tritt teils als molekulare Bewegung in Form von Wärme, teils als molare Bewegung in der Form mechanischer Arbeit auf.[1]) In den Geweben eines lebenden Tieres wird fortwährend Wärme produziert. Aber auch die in Form von Massenbewegung auftretende Energie wird zum großen Teil wieder in Wärme umgesetzt. Wenn ein Tier seinen Ort nicht ändert, noch sonstwie, durch Hebung von Lasten u. dergl., äußere mechanische Arbeit leistet, dann geht alle in ihm entstehende Bewegungsenergie schließlich in Wärme über. Indem dadurch seine Temperatur über die der Umgebung steigt, wird Wärme an diese abgegeben. Zwischen der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe an die Außenwelt stellt sich ein Gleichgewichtszustand her, von welchem die Temperatur des Tieres abhängt. Bleibt letztere konstant, so muss die in einer gewissen Zeit abgegebene Wärme der produzierten gleich sein. Bringen wir ein Tier in ein Kalorimeter, so können wir die von ihm ausgegebene Wärme messen und untersuchen, wie weit sie mit derjenigen übereinstimmt, welche aus den in seinem Innern vorgegangenen Stoffumwandlungen berechnet werden kann. 4. Entstehung kinetischer Energie.

Wird reiner Kohlenstoff in einem Kalorimeter zu CO_2 oder reiner Wasserstoff zu H_2O verbrannt, so entstehen für jedes Gramm C rund 8000, für jedes Gramm H rund 34000 ca. Wir nennen die solchergestalt für die Oxydation verschiedener Stoffe erhaltenen Zahlen die Verbrennungswärmen der betreffenden Stoffe.

Statt die Gewichtseinheit des sich mit einer bestimmten Menge eines anderen Stoffes (in unserem Falle Sauerstoff) verbindenden Stoffes der Berechnung zu Grunde zu legen, ist es vielfach rationeller, diejenige Gewichtsmenge zu wählen, welche zur Bildung einer Grammmolekel der entstehenden Verbindung erforderlich ist. Zum Beispiel: 2 g H und 16 g O geben 18 g oder eine Grammmolekel Wasser; dabei werden 68 Ca frei; also ist die Bildungswärme des Wassers = 68. 12 g C und 32 g O geben 44 g oder eine Grammmolekel Kohlendioxyd; die dabei gebildete Wärme, die Bildungswärme des Kohlendioxyds ist = 96.[2])

[1]) Andere Energieformen, wie die Entwicklung von Licht und Elektrizität, übergehen wir vorläufig. Ihr Anteil an der gesamten Leistung ist sehr gering.

[2]) Es giebt noch zwei andere Verbindungen von Wasserstoff und Kohlenstoff mit Sauerstoff: Wasserstoffsuperoxyd (H_2O_2) und Kohlenoxyd (CO). Ersteres ist sehr unbeständig, letzteres ein intensives Gift. Da beide bei den normalen Lebensprozessen keine bemerkenswerte Rolle spielen, so berücksichtigen wir bei Betrachtung des Energiewechsels nur die Bildungswärme des Wassers und die des Kohlendioxyds.

Im tierischen Körper verbrennen aber nicht freie Elemente, sondern Verbindungen derselben. Damit aus Kohlenhydraten, Fetten und Proteinstoffen CO_2, H_2O und Harnstoff entstehen können, muss die chemische Verwandtschaft, durch welche die Elemente C, H, O und N in jenen Stoffen miteinander vereinigt sind, erst gelöst werden.

Im Grunde genommen, findet das Gleiche bei allen chemischen Verbindungen, selbst zwischen zwei Elementen, statt, insoweit die Molekeln der Elemente aus mehr als einem Atom bestehen (vgl. Kap. 8 § 15). Wenn aus H und O die Verbindung H_2O wird, so sind es nicht freie Atome, sondern Molekeln, welche aufeinander reagieren. In der Molekel (O=O) muss erst eine Trennung der beiden Atome eintreten, damit jedes derselben sich mit zwei H-atomen verbinden kann, und auch diese zwei H-atome sind nicht frei vorhanden, sondern zu H-molekeln vereinigt. Um die Trennung einzuleiten, bedarf es einer bestimmten Energie, die durch einen elektrischen Funken, eine angenäherte Flamme oder dgl. geliefert wird. Bei der Vereinigung von O und H zu dem Atomkomplex H_2O wird aber viel mehr kinetische Energie frei, als zur Trennung der H—H und der O=O-verbindung erforderlich ist. Das Endergebnis ist also ein positives; dieses wird gemessen, wenn wir die Bildungswärme des Wassers bestimmen.

Wir können, um die Bildung von Wasser aus den Elementen H und O genau darzustellen, die Gleichung so schreiben

$$2\,(H—H) + O=O = 2\,(H_2O).$$

Auf der linken Seite sind gegeben 2 Molekeln Wasserstoff und 1 Molekel Sauerstoff. Um diese Molekeln in ihre Atome zu zerlegen, bedarf es der Energieen e_h und e_o. Bei der Vereinigung zu Wasser wird für jede Molekel Wasser die Energie e_w frei. Die Energiegleichung für die Bildung von zwei Molekeln Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff ist daher:

$$2\,V = 2\,e_w—(2\,e_h + e_o)$$

5. Kalorimetrische Messungen an Tieren.

5. Wir können die Verbrennungswärmen der Nahrungsstoffe empirisch bestimmen, indem wir sie unter Zufuhr des zur vollständigen Oxydation erforderlichen Sauerstoffes in einem Kalorimeter verbrennen. Wir finden so für 1 g Kohlenhydrate die Verbrennungswärme 4,2 Ca, für 1 g Fett 9,2 Ca. Dasselbe können wir mit den Proteinstoffen thun; es ist jedoch zu beachten, dass letztere im Tierkörper nicht vollkommen verbrennen, sondern, dass neben CO_2 und H_2O auch Harnstoff und seine Verwandten entstehen, welche zwar mehr Sauerstoff enthalten, als in den Proteinstoffen mit den anderen Elementen verbunden war, die aber doch noch verbrennlich sind, d. h. noch mehr Sauerstoff aufnehmen können. Wir müssen deshalb bei den Proteinstoffen unterscheiden zwischen der absoluten Verbrennungswärme, welche man findet, wenn man diese Stoffe

bei genügender Sauerstoffzufuhr vollkommen verbrennt, und der physiologischen Verbrennungswärme, welche bei der im tierischen Organismus stattfindenden Oxydation frei wird. Die letztere lässt sich nicht durch einen Versuch außerhalb des Organismus bestimmen. Man erhält sie aber auf Umwegen, indem man von der absoluten Verbrennungswärme der Proteinstoffe diejenige einer Harnstoffmenge abzieht, welche die gleiche Menge Stickstoff enthält. Auf diese Weise findet man, dass im tierischen Organismus durch Verbrennung von je 1 g Eiweiß bis zu derjenigen Oxydationsstufe, welche im Tierkörper erreicht wird, 4,1 Ca frei werden können.

Bringt man ein Tier in ein Kalorimeter und vergleicht man unter Zugrundelegung dieser Zahlen die von dem Tier ausgegebene Wärme mit derjenigen, welche aus der Verbrennung der eingeführten Nahrung entstehen könnte, so findet man bei hinreichend lange fortgesetzten Versuchen und in Fällen vollkommenen Stoffwechselgleichgewichts, d. h. wenn man sicher sein kann, dass wirklich den aufgenommenen Nahrungsstoffen gleiche Mengen derselben Stoffe innerhalb des Tierkörpers verbrannt worden sind, vollkommene Übereinstimmung. Wir können uns also überzeugt halten, dass alle im Tierkörper freiwerdende kinetische Energie aus der chemischen Verwandtschaft der verbrannten Stoffe zum Sauerstoff stammt, oder mit anderen Worten, dass sie durch Umwandlung der in der chemischen Verwandtschaft jener Stoffe zum Sauerstoff gegebenen potentiellen Energie in kinetische gewonnen wird.

Der Nachweis ist durchaus nicht so leicht, als es auf den ersten Blick scheinen könnte. Die eingeführten Nahrungsmittel werden nicht sofort verbrannt. Sie müssen erst verdaut und aus dem Darmkanal durch Resorption in das Blut und durch dieses in die Gewebe gebracht werden. In diesen werden sie entweder verbrannt, oder sie werden als Ersatz für andere, in den Geweben oxydierte Gewebsbestandteile den Geweben angegliedert. Daraus folgt, dass nur unter ganz bestimmten Umständen eine genaue Übereinstimmung in Quantität und Qualität zwischen den eingeführten Nahrungsstoffen und den verbrannten Stoffen bestehen kann.

Mühsame Untersuchungen haben gezeigt, dass die produzierte Wärme der aus der Verbrennungswärme der eingeführten Nahrungsstoffe berechneten entspricht, wenn die Tiere sich in vollkommenem Stoffwechselgleichgewicht befinden. Die Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse ist um so genauer, je länger die Zeiträume der Beobachtung sind. Nimmt ein Tier die ganze für 24 Stunden ausreichende Nahrung auf einmal zu sich, so kann man zwei Zeitabschnitte unterscheiden. In den ersten 10—12 Stunden, d. h. während der Verdauung und Resorption, wo der Zustrom der resorbierten Nahrung zu den Geweben stattfindet, ist die

Wärmeproduktion schwankend; in der zweiten Hälfte verläuft sie viel regelmäßiger. Bei der Berechnung ist Rücksicht zu nehmen auf die unverdaut mit dem Kot abgehenden Teile der Nahrung. Nur der wirklich resorbierte und im Organismus verbrannte Anteil darf in Rechnung gesetzt werden. Auf diesen kann man mit einiger Genauigkeit schließen, wenn man die in der gleichen Zeit ausgeschiedenen Stoffe nach Menge und Qualität bestimmt.

Die Übereinstimmung fällt einigermaßen genau aus, wenn die Versuche sich mindestens über 2—3 Stunden erstrecken und nicht in die Verdauungsperiode fallen. Zu noch besserer Übereinstimmung kommt man aber nur bei Versuchen von 24stündiger Dauer in Fällen vollständigen Stoffwechselgleichgewichts.

Die Berechnung wird noch mehr verwickelt, wenn ein Tier nicht bloß Wärme produziert, sondern auch Arbeit leistet. Wir können jedoch diese Komplikation ausscheiden, indem wir das Tier in das Kalorimeter einschließen, weil dann alle geleistete Arbeit innerhalb des Kalorimeters bleibt und nur in Form von Erwärmung desselben zur Beobachtung gelangt. Ein Tier, welches in einer bestimmten Zeit eine gewisse Menge Eiweiß (e), Fett (f) und Kohlenhydrate (k) in Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff (oder Harnsäure u. s. w.) umsetzt, muss in dieser Zeit $14{,}1\,e + 9{,}2\,f + 4{,}2\,k$ Kalorieen produzieren.

Die Summe $4{,}1\,e + 9{,}2\,f + 4{,}2\,k$ würde der experimentell gefundenen Wärmeproduktion gleich sein, wenn die mit der Nahrung aufgenommenen Mengen e, f und k wirklich vollständig zur Umsetzung in CO_2, H_2O und Harnstoff gelangt wären. Da dies aus schon erwähnten Gründen selten oder niemals ganz der Fall ist, so müssen wir, um den nicht umgesetzten Anteil der Nahrungsstoffe annähernd in Ansatz bringen zu können, die ausgeschiedenen Mengen von CO_2, H_2O und Harnstoff mit denjenigen vergleichen, welche sich aus den Mengen der aufgenommenen Nahrungsstoffe bei vollständiger Oxydation derselben ergeben. Daraus kann man die wirklich oxydierten Mengen e, f und k berechnen.

Leistet ein Tier äußere Arbeit durch Hebung von Lasten u. s. w., so müsste man, um die Berechnung durchzuführen, die dieser Arbeitsleistung äquivalente Wärmemenge zu der thatsächlich abgegebenen Wärme addieren. Ganz in gleicher Weise gestaltet sich die Berechnung bei Kraftmaschinen, welche durch Verbrennung irgend eines Materials Wärme und Arbeit produzieren, z. B. bei Dampfmaschinen. Die Verbrennungswärme der im Feuerraum verbrannten Kohle, nach Abzug der Asche und des im Rauch unverbrannt abziehenden Anteils, muss gleich sein der Summe der von der Maschine an die Umgebung abgegebenen Wärme plus dem Wärmeäquivalent der von der Maschine geleisteten Arbeit, Es ist bemerkenswert, dass das Verhältnis der nutzbaren Arbeit zu der an die Umgebung abgegebenen Wärme beim ar-

beitenden Tier günstiger ausfallen kann als bei Dampfmaschinen, wie schon Graf RUMFORD (1753—1814) wusste. Ein Pferd arbeitet ökonomischer als eine Dampfmaschine; ob es auch billiger arbeitet, hängt von den Preisen der zur Ernährung des Pferdes notwendigen Stoffe und dem Preise der Kohle ab.

6. Vergleichung von Tieren und Dampfmaschinen.

6. Wir wollen den Vergleich zwischen einem Tier und einer Dampfmaschine noch etwas weiter ausführen, weil er in vieler Beziehung lehrreich ist. Freilich muss man sich bei allen solchen Vergleichen genau klar machen, auf welche Punkte die Vergleichung sich erstrecken soll, und darf auch die großen Unterschiede, welche zwischen den verglichenen Objekten bestehen, nicht übersehen. In der Dampfmaschine wie im tierischen Organismus wird durch Verbrennung kohlenstoffhaltigen Materials potentielle Energie in kinetische umgewandelt. Die Verbrennungsprodukte, bei der Dampfmaschine fast nur Kohlendioxyd, daneben wenig Wasser und Asche, beim tierischen Organismus Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff, werden ausgeschieden. Die kinetische Energie tritt in beiden Fällen in Form von Wärme und von mechanischer Arbeit auf. Damit ist im wesentlichen die Analogie erschöpft. Im übrigen bestehen große und wichtige Unterschiede. In der Dampfmaschine brennt die Kohle nur im Feuerraum; von da wird die erzeugte Wärme auf das Wasser des Kessels übertragen, die dadurch entstandene Dampfspannung setzt den Mechanismus der Maschine in Gang. Bei dem tierischen Organismus müssen wir unterscheiden zwischen kontraktilen und nicht kontraktilen Gebilden. In letzteren geht die durch Oxydation entstehende kinetische Energie fast ganz in die Form freier Wärme über.[1]) In den ersteren, namentlich den Muskeln, welche durch ihre Zusammenziehung die Bewegung bewirken, wird ein Teil der Energie auch als Wärme, ein anderer Teil als mechanische Arbeit frei. Von der Dampfmaschine aber unterscheidet sich der Muskel wesentlich darin, dass bei ihm Verbrennungsraum und Bewegungsmechanismus örtlich zusammenfallen und dass wahrscheinlich beide Energieformen unmittelbar aus der potentiellen Energie hervorgehen, dass Arbeitsleistung und Wärmeproduktion sozusagen nebeneinander entstehen, während in der Dampfmaschine durch die Verbrennung zunächst nur Wärme erzeugt und ein Bruchteil derselben durch die Expansion des Dampfes nachträglich in Arbeit verwandelt wird.

Die in der Dampfmaschine frei werdende Energie hängt ausschließlich ab von der Menge der im Feuerraum verbrennenden

[1]) Daneben finden geringe Molarverschiebungen, z. B. Ausscheidung von Flüssigkeiten, statt oder chemische Prozesse, durch welche Wärme verbraucht wird (vgl. § 7).

Kohle, nicht von der chemischen Natur der eigentlichen Maschinenteile; im tierischen Organismus dagegen nimmt die Maschine selbst, d. h. die lebende Zelle an der Erzeugung der Energie teil. Sie wird dabei zum Teil in ihrem Gefüge angegriffen; der Verlust muss fortwährend wieder ersetzt werden. Diese Abnutzung der Maschine ist beim Muskel viel erheblicher als in der Dampfmaschine, nicht nur wegen des widerstandsfähigeren Materials der letzteren, sondern auch weil beim Muskel die Maschinenteile zugleich das Brennmaterial sind. Die Abnutzung durch Reibung an den aufeinander gleitenden Flächen hat bei der Dampfmaschine nichts mit der Erzeugung der Energie zu thun. Sie giebt, da bei der Reibung ein Teil der molaren Bewegungsenergie wieder in Wärme verwandelt und an die Umgebung abgegeben wird, Anlass zum Verlust eines Teils der schon erzeugten, nutzbaren Arbeitsleistung. Bei den tierischen Geweben dagegen ist es das Gefüge der Gewebe selbst, in welchem die Oxydation stattfindet und die Arbeit geleistet wird. Wieviel von diesem Material in einer gewissen Zeit oxydiert wird, hängt hauptsächlich von der Stärke der Reizung ab, durch welche der Muskel zur Verkürzung veranlasst wird. So ist es möglich, dass der im Muskel angehäufte Vorrat von zersetzbarem Gewebsmaterial ganz allmählich verbraucht wird, und dass somit sein Vorrat an potentieller Energie lange Zeit ausreicht, selbst unter Umständen, in denen eine Ergänzung von außen, eine Zufuhr von Brennstoff ausgeschlossen ist. Wenn man bei einem Frosch alles Blut aus den Gefäßen auswäscht, indem man eine verdünnte Kochsalzlösung lange Zeit durch sie hindurchleitet, so bleiben die Muskeln des Tieres noch lange leistungsfähig, obgleich sie doch aus der das Gewebe durchtränkenden Flüssigkeit keine Stoffe mehr beziehen können, durch deren Oxydation die Arbeit geleistet werden könnte. Da die Muskeln dabei auch noch Kohlendioxyd und andere Oxydationsprodukte liefern, so muss es in diesem Falle offenbar die Gewebssubstanz selbst sein, welche oxydiert wird und aus deren Verbrennung die kinetische Energie herstammt.

Da die festen Bestandteile des Muskelgewebes zum größten Teile Proteinstoffe sind, so hat man geglaubt, dass die Energie in ihm durch Oxydation solcher Stoffe, allein oder doch vorwiegend, erzeugt werde. Aber der Muskel enthält auch Fette und Kohlenhydrate (Glykogen), und da sich gezeigt hat, dass durch angestrengte Muskelarbeit der Betrag an stickstoffhaltigen Stoffen in den Ausscheidungen nur wenig geändert wird, während die Ausgabe von Kohlendioxyd dabei sehr erheblich steigt, so muss man annehmen, dass bei der Arbeit die stickstofffreien Bestandteile, solange sie in genügender Menge vorhanden sind, in stärkerem Verhältnis oxydiert werden und die eigentliche Quelle der Arbeitsleistung

sind. Stark arbeitende Menschen und Lasttiere bedürfen daher einer an Fetten und Kohlenhydraten reicheren Nahrung als solche, die nur wenig Muskelarbeit leisten. Erst wenn nach langem Hungern fast alles Fett und Glykogen aus den Muskeln verschwunden ist, geschieht die fernere Arbeitsleistung fast ausschließlich durch Oxydation von Proteinstoffen.

Bei der Dampfmaschine muss das Brennmaterial von außen her angezündet werden, um die Maschine in Gang zu bringen, während in den Organismen das eingeführte Material, sobald es in den Bereich der Zellen gelangt, der Verbrennung anheimfällt. Aber auch das ist kein prinzipieller Unterschied; denn wenn einmal das Feuer in der Dampfmaschine entzündet ist, gerät alle neu eingeführte Kohle auch in Brand, und die Maschine arbeitet fort, solange ihr rechtzeitig neuer Brennstoff zugeführt wird. Eine solche Maschine besteht in jedem Augenblick aus einer bestimmten Masse verschiedener Substanzen, dem Metall der Maschinenteile, dem flüssigen Wasser, dem Wasserdampf im Kessel und Dampfcylinder und dem gerade vorhandenen noch unverbrannten Kohlenvorrat im Feuerraum. Wird der letztere in dem Maße, als er verbrennt, durch Zufuhr von außen ergänzt, so könnte man gerade so gut von einem Stoffwechsel der Dampfmaschine sprechen wie von dem Stoffwechsel bei Tieren und könnte ebenso Fälle von Stoffwechselgleichgewicht, von übermäßiger und ungenügender Zufuhr unterscheiden. Da der Feuerraum ein beschränktes Volum hat und in ihm nicht, wie im Muskel, größere Mengen vorrätigen Brennmaterials Platz haben, so bedarf die Zufuhr desselben einer genauen Regulierung, damit nicht bei ungenügender Zufuhr das Spiel der Maschine aufhöre.

Der Umstand, dass ein Tier seine Form und Masse bewahrt, während die Stoffe, aus denen es in jedem Augenblick besteht, fortwährend wechseln, ist für das Verständnis der Lebensvorgänge von so einschneidender Bedeutung, dass nicht nachdrücklich genug auf ihn hingewiesen werden kann. E. DU BOIS-REYMOND hat, um diesen Zustand der Materie deutlich von anderen, in denen eine begrenzte Masse von Stoffen sich sonst zu befinden pflegt, schärfer zu trennen, für ihn die Bezeichnung „dynamisches Gleichgewicht“ gewählt, während HUXLEY ihn durch die Vergleichung mit einem Wasserstrudel in einem Fluss anschaulich zu machen sucht. In beiden Bezeichnungen ist aber nicht genügend auf den Umstand hingewiesen, welcher gerade für die Vorgänge in den Lebewesen von größter Bedeutung ist, dass die Stoffe während ihres Aufenthaltes innerhalb der Körper der Lebewesen chemische Veränderungen eingehen, dass die austretenden Stoffe, obgleich sie aus genau gleichen Mengen derselben Elemente bestehen wie die eintretenden, doch physikalisch etwas ganz anderes darstellen wie jene, weil die Elemente in anderen Verbindungen vorhanden sind. Beim Wasser-

strudel hat keine chemische Veränderung stattgefunden, wohl aber bei der Dampfmaschine und bei dem Tier, und doch können alle drei unter den Begriff des dynamischen Gleichgewichts zusammengefasst werden.

7. Endothermische und exothermische Prozesse.

7. Betrachten wir die Fälle, in denen chemische Veränderungen während des Durchganges der Stoffe durch ein in dynamischem Gleichgewicht befindliches System stattfinden, so können wir wiederum zwei ganz entgegengesetzte Fälle unterscheiden je nach der Art der chemischen Prozesse, welche in dem System ablaufen. Die in einen tierischen Organismus oder eine Dampfmaschine eingeführten Stoffe stellen einen bestimmten Betrag von potentieller Energie dar, von welcher innerhalb des betreffenden Gebildes ein größerer oder geringerer Bruchteil in kinetische Energie umgesetzt wird. Um diese Beziehung zahlenmäßig auszudrücken, brauchen wir nur die Verbrennungswärmen der eintretenden und der austretenden Stoffe miteinander zu vergleichen. Der Kohlenstoff, welcher in die Dampfmaschine eintritt, hat die Verbrennungswärme 8000. Das Kohlendioxyd, welches sie verlässt, hat die Verbrennungswärme Null[1]). Dementsprechend ist alle potentielle Energie des Kohlenstoffes innerhalb der Dampfmaschine in kinetische Energie umgewandelt worden. Diese muss, da von ihr nach dem Gesetz von der Konstanz der Energie nichts verloren gehen kann, für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 8000 Ca äquivalent sein. Diesen Betrag würden wir auch finden, wenn wir alle von der Maschine an die Umgebung abgegebene Wärme kalorimetrisch messen und dazu das kalorische Äquivalent der von der Maschine geleisteten mechanischen Arbeit addieren würden. Ganz ähnlich liegt die Sache bei den Tieren. Die in diese eintretenden Stoffe, Proteine, Fette und Kohlenhydrate, stellen einen bestimmten Betrag chemischer Energie der Lage dar, welchen wir berechnen können, indem wir die Mengen der einzelnen, eingeführten Stoffe mit den ihnen zukommenden Verbrennungswärmen multiplizieren. Von den ausgeführten Stoffen haben Wasser und Kohlendioxyd die Verbrennungswärme Null, Harnstoff und die ihm ähnlichen Stoffe eine bestimmte, aber geringe Verbrennungswärme. Ziehen wir diese und die Verbrennungswärme der nicht verdauten und deshalb unverbrannt ausgeschiedenen Bruchteile der Nahrung von der Summe der Verbrennungswärmen der eingeführten Stoffe ab, so finden wir den gesamten Betrag der innerhalb des Tieres aus potentieller Energie hervorgegangenen kinetischen Energie und können diesen berechneten Betrag mit dem durch Beobachtung gefundenen vergleichen (s. oben § 5).

[1]) Von den bisweilen erheblichen Mengen teilweise oxydierter Stoffe, welche als Rauch entweichen oder auf dem Rost zurückbleiben, sehen wir ab, um die Berechnung nicht zu sehr zu erschweren.

Ganz anders dagegen ist das Ergebnis, wenn wir die gleiche Betrachtung auf eine höhere Pflanze anwenden. In eine solche treten Kohlendioxyd, Wasser und Mineralsalze ein, lauter Stoffe, welche die Verbrennungswärme Null oder doch, was bei einigen der Salze der Fall sein kann, eine sehr geringe Verbrennungswärme haben. Innerhalb der Pflanze aber entstehen Proteine, Fette und Kohlenhydrate, lauter Stoffe mit hohen Verbrennungswärmen, welche ihrerseits, wenn sie sich wieder mit Sauerstoff vereinigen, kinetische Energie frei zu machen imstande sind. Ein solcher Prozess kann nicht, wie der entgegengesetzte bei Dampfmaschinen und Tieren, mit der Ausgabe kinetischer Energie verbunden sein; es geht dabei vielmehr umgekehrt kinetische Energie in potentielle über.

In Wirklichkeit sind die Prozesse, soweit sie in Tieren und Pflanzen ablaufen, sehr kompliziert durch allerlei Nebenumstände. Erstens müssen, wie wir gesehen haben, der Oxydation der Nahrungsstoffe im Tierkörper Spaltungen derselben vorausgehen. Zweitens finden im Tierkörper zum Teil auch Synthesen statt, indem aus einfacheren, eingeführten oder im Tierkörper entstandenen, Stoffen kompliziertere entstehen. Drittens finden auch in Pflanzen, wenngleich in geringem Umfang, Oxydationen statt. Endlich tritt die kinetische Energie in den von uns betrachteten Fällen stets in mehreren Formen auf, teils als Wärme, teils als mechanische Arbeit, teils, in geringer Menge, in anderen Energieformen.

Es wird deshalb nützlich sein, zunächst weniger verwickelte Fälle zu betrachten, einfache chemische Prozesse, bei deren Ablauf alle Energie nur in Form von Wärmebewegung zur Beobachtung kommt. Dann haben wir es nur mit zwei Möglichkeiten zu thun; entweder verläuft der Vorgang mit Umsetzung potentieller Energie in kinetische, welche, da mechanische Arbeit und sonstige Energieleistungen ausgeschlossen sind, als freie Wärme auftritt; die Stoffe, an denen der chemische Vorgang sich vollzieht, erwärmen sich und geben Wärme an die Umgebung ab. Oder aber, es tritt Abkühlung ein, während der Prozess sich vollzieht; infolgedessen geht aus der Umgebung Wärme an die Stoffe, in denen der Prozess abläuft, über. Vorgänge der ersten Art nennt man exothermische oder Prozesse mit positiver Wärmetönung, Vorgänge der zweiten Art heißen endothermische oder Prozesse mit negativer Wärmetönung.

Setzt sich ein chemischer Prozess aus mehreren nacheinander oder gleichzeitig nebeneinander verlaufenden Teilprozessen zusammen, so können einige von diesen exothermischer, andere endothermischer Natur sein. Fällt die algebraische Summe der Wärmetönungen positiv aus, dann nennen wir den Vorgang als Ganzes einen exo-

thermischen; fällt die Summe negativ aus, einen endothermischen. Ob das eine oder das andere der Fall ist, können wir feststellen, wenn wir den Prozess innerhalb eines Kalorimeters ablaufen lassen und beobachten, ob dabei Wärme an den Apparat abgegeben oder ihm entzogen wird. Beschränken wir uns auf Prozesse, bei denen es sich um Vereinigung mit oder Trennung von Sauerstoff handelt, also auf Oxydations- oder Desoxydationsprozesse, so können wir auch, wie wir es schon oben gethan haben, die Verbrennungswärmen der Anfangs- und der Endprodukte miteinander vergleichen. Ist die erstere größer als die letztere, dann ist der Prozess ein exothermischer; ist die letztere größer, dann ist er ein endothermischer.

8. Arbeitsleistung und Arbeitsverbrauch.

8. Zur Einleitung eines exothermischen Prozesses bedarf es meistens irgend eines Anstoßes von außen. Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff oder von Wasserstoff und Chlor verharren in Ruhe, bis eine Flamme, ein elektrischer Funke oder irgend ein anderer Anlass die Vereinigung der Gase einleitet. Kohle oder kohlenstoffhaltige Verbindungen vereinigen sich mit dem sie umgebenden Sauerstoff nicht, wenn sie nicht bis zu einer, für jeden Stoff ganz bestimmten Temperatur, der Entzündungstemperatur, erwärmt werden. Man kann viele dieser Erscheinungen, für die wir an früheren Stellen Beispiele kennen gelernt haben, unter den Begriff der Auslösung einreihen (vgl. Kap. 5 § 17). Was ausgelöst wird, ist die kinetische Energie, welche aus der Umwandlung der potentiellen Energie der chemischen Verwandtschaft hervorgeht. Ist aber der Prozess erst einmal eingeleitet, so unterhält er sich in der Regel von selbst; die beim Beginn des Prozesses frei werdende kinetische Energie genügt meistens, um immer neue Molekeln der Stoffe in den Umwandlungsprozess hineinzuziehen. Anders ist es bei endothermischen Prozessen, bei denen kinetische Energie in potentielle umgewandelt wird. Zu ihrer Unterhaltung bedarf es einer fortdauernden Zuführung kinetischer Energie von außen, sei es in Gestalt von Wärme, von elektrischer Strömung oder in irgend einer anderen Form.

Man kann dies auch so ausdrücken: Exothermische Prozesse leisten Arbeit durch Umwandlung potentieller Energie in kinetische. Der Ausdruck Arbeit ist hierbei im allgemeinsten Sinne genommen, worin er jede Art kinetischer Energie, Wärme, mechanische Arbeit u. s. w. umfasst. Ist ein solcher Prozess einmal eingeleitet, so geht er, wenn keine Störung von außen eintritt, so lange fort, bis alle in den umwandelbaren Stoffen vorhandene potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt ist. Entzündete Kohle brennt fort, solange noch Kohle und genügender Sauerstoff vorhanden sind, die sich chemisch vereinigen können. Endothermische Prozesse dagegen bedürfen

nicht nur zu ihrer Einleitung, sondern auch zu ihrer Fortdauer der fortwährenden Zufuhr kinetischer Energie von außen; sie verbrauchen Arbeit oder, wie wir auch sagen können, es muss Arbeit an ihnen geleistet werden. Um eine chemische Verbindung, sagen wir Quecksilberoxyd zu zerlegen in Quecksilber und Sauerstoff (die sich wieder vereinigen und dabei Arbeit leisten können), müssen wir Wärme von außen zuführen. Wenn wir diese Art der Anschauung auf die Lebewesen anwenden, so ist es klar, dass bei allen denjenigen Lebewesen, in deren Körpern Stoffe mit hoher Verbrennungswärme in solche mit niedriger übergehen, also bei allen Tieren, das Leben als ein exothermischer Prozess aufgefasst werden muss, und dass im Gegensatz dazu das Leben der Pflanzen, wenngleich auch in ihnen exothermische Prozesse nicht ganz fehlen, im großen und ganzen ein endothermischer Prozess genannt werden muss.

In der Technik unterscheidet man zwischen Kraftmaschinen, welche potentielle Energie in kinetische umwandeln und damit Arbeit leisten, und Arbeitsmaschinen, welche die ihnen zugeführte kinetische Energie in irgend eine andere Form kinetischer Energie überführen, wodurch sie einer bestimmten Leistung angepasst sind. Eine Dampfmaschine ist eine Kraft-, eine Hobelmaschine oder ein Webstuhl sind Arbeitsmaschinen. Der Unterschied besteht also darin, dass in den Kraftmaschinen kinetische Energie erzeugt, in den Arbeitsmaschinen die erzeugte in einer bestimmten Weise verwertet wird. Nach diesem Sprachgebrauch muss man tierische Organismen als Kraftmaschinen und Arbeitsmaschinen zugleich ansehen. Sie verwandeln potentielle Energie in kinetische. Ein Teil dieser Energie wird in ihren Organen (Muskeln u. a.) in bestimmte Verrichtungen, Kreislauf des Bluts, Atembewegungen, umgewandelt. Insofern sind sie Arbeitsmaschinen. Ein anderer Teil kann als äußere Arbeit nutzbar gemacht werden; das Tier kann Lasten heben u. s. w. Insofern sind also die Tiere auch Kraftmaschinen. Ob aber die aus der potentiellen Energie der eingeführten und innerhalb des Tiers mit Sauerstoff verbundenen Nahrungstoffe hervorgegangene Energie sich in der einen oder in der anderen Weise äußert, bleibt sich gleich; immer haben wir es mit Erzeugung kinetischer Energie zu thun. Bei Pflanzen dagegen findet durch die in ihnen vor sich gehenden Synthesen und die damit verbundene Ansammlung größerer Mengen von Stoffen mit hoher Verbrennungswärme Anhäufung potentieller Energie statt. Es besteht also in energetischer Beziehung ein diametraler Gegensatz zwischen Tieren und Pflanzen.

9. Chlorophyllfreie Pflanzen.

9. Wir müssen jetzt die wichtige Frage erörtern, woher die Energie stammt, welche innerhalb der Pflanzen zu dieser Anhäufung potentieller Energie in Gestalt oxydierbarer Stoffe von der Art der

Kohlenhydrate, Fette und Proteinstoffe verbraucht wird. Die Antwort fällt verschieden aus, je nachdem wir die chlorophyllfreien Pflanzen oder die grünen Pflanzen betrachten.

Beginnen wir die Betrachtung zunächst mit den chlorophyllfreien Pflanzen, so zeigt sich, dass nur wenige, die echten Parasiten, sich wie Tiere ernähren, indem sie fertig gebildete organische Stoffe zu ihrer Ernährung verwenden, einen Teil derselben oxydieren, den anderen in ihren Leibern aufspeichern. Alle anderen, deren verschiedenartige Ernährungsweisen wir im vorigen Kapitel kennen gelernt haben, zeigen aber die bemerkenswerte Eigentümlichkeit, dass sie unverhältnismäßig große Mengen von Stoffen in ihrer Umgebung, in den Nährböden, auf denen sie wachsen, in verschiedener Weise zersetzen, während sie einen nur kleinen Teil dieser Stoffe zum Aufbau ihrer Leibessubstanz verwerten.

Da diese Leibessubstanz, wie bei den grünen Pflanzen, aus Proteinstoffen, Fetten und Kohlenhydraten, also lauter Stoffen mit relativ hohen Verbrennungswärmewerten, besteht, so ist der Aufbau derselben sicher zu den endothermischen Prozessen zu rechnen. Wenn wir auch nicht wissen, in welcher Weise die Knöllchenbakterien der Leguminosen und die Pilzfäden der Mykorrhiza den freien Stickstoff in Proteinverbindungen verwandeln, soviel können wir jedenfalls sagen, dass die dieser Synthese notwendig vorausgehende Spaltung des Kohlendioxyds nicht ohne Verbrauch kinetischer Energie möglich ist. Wir können diese Schwierigkeit zu beseitigen versuchen, indem wir diesen Anteil des Vorganges in die mit den Pilzen zusammenlebende chlorophyllhaltige Pflanze verlegen, von der wir ja schon wissen, dass sie die Fähigkeit besitzt, Kohlendioxyd zu zerlegen. Es giebt aber, wie schon erwähnt wurde, auch Bakterien, welche den zum Aufbau der Protoplasmastoffe erforderlichen Kohlenstoff aus dem Kohlendioxyd der Luft entnehmen können, ohne dass ihnen grüne Pflanzen dabei zu Hilfe kommen. Und ebenso müssen alle Nitrit- und Nitratbakterien zur Bildung der stickstoffhaltigen organischen Stoffe sicher kinetische Energie verbrauchen, da die von ihnen gebildeten Proteinstoffe, eine höhere Verbrennungswärme haben als die ihnen chemisch äquivalenten, d. h. gleiche Mengen von Stickstoff enthaltenden Mengen von Ammonium, salpetrigsauren und salpetersauren Salze.

Die Lösung dieser Schwierigkeiten ergiebt sich, wenn wir die im Eingang des Paragraphen hervorgehobene Thatsache beachten, dass die Lebensvorgänge aller dieser Pflanzen mit einer reichlichen Zersetzung des umgebenden Materials verbunden sind. Diese Vorgänge sind alle exothermischer Natur. Die Bereitung von salpetriger Säure aus Ammoniak durch die Nitritbakterien, von Salpeter-

säure aus salpetriger Säure durch die Nitratbakterien sind Vorgänge, welche mit positiver Wärmetönung verlaufen. Dasselbe gilt von der Erzeugung von Schwefelsäure aus Schwefelwasserstoff bei den Schwefelbakterien, der Erzeugung von Eisenoxydverbindungen bei den Eisenbakterien. Es gilt aber auch für die komplizierteren Zersetzungen, welche die verschiedenen Mikroben in allerlei organischen Verbindungen hervorrufen. Wenn Saccharomycespilze aus Zucker und Salzen die Protoplasmastoffe aufbauen, aus denen die durch Sprossung entstandenen neuen Hefezellen bestehen, und gleichzeitig einen viel größeren Teil des ihnen zur Verfügung stehenden Zuckers in Alkohol und Kohlendioxyd spalten, als sie zur Bildung ihrer Protoplasmasubstanzen bedürfen, so wird dabei eine erhebliche Wärmemenge frei. Das Gleiche gilt von den Zersetzungen, welche Fäulnisbakterien in proteinartigen Stoffen hervorrufen, sowie von allen anderen, im vorigen Kapitel erwähnten Umsetzungen. Kohlendioxyd und Wasser und die geringen Mengen Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Methan, Alkohol u. s. w., kurz alle die Stoffe, welche bei den durch Mikroben veranlassten Zersetzungen entstehen, haben zusammengenommen immer eine geringere Verbrennungswärme als die Stoffe, aus denen sie entstanden sind.

Es gehen also bei dem Lebensprozess aller dieser Mikroben stets zwei Reihen von Prozessen nebeneinander her. Die im Innern der Mikroben verlaufenden, welche zum Aufbau ihres Protoplasmas führen, sind endothermischer Natur; zu ihrer Unterhaltung bedarf es der Zufuhr kinetischer Energie. Die gleichzeitig in der Umgebung der Mikroben verlaufenden Prozesse sind exothermischer Natur. Die exothermischen Prozesse überwiegen die endothermischen; es wird mehr Wärme frei, als gebunden wird. Die entstehende Wärme geht zum größten Teil durch Strahlung, Leitung, Wasserverdunstung an die Umgebung verloren. Aber ein Teil dieser kinetischen Energie kommt auch den Mikroben selbst zu gute. Auf ihre Kosten bestreiten die chlorophyllfreien Pflanzen die in ihrem Innern ablaufenden endothermischen Prozesse, soweit sie sich nicht in derselben Weise wie die Tiere ausschließlich durch Aufnahme fertig gebildeter Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette ernähren.

10. Fermente und Enzyme.

10. Die durch niedrige Organismen verschiedener Art bewirkten Zersetzungen aller möglichen Stoffe, deren Wichtigkeit für den Kreislauf der Stoffe wir schon im vorigen Kapitel kennen gelernt haben, weisen also diesen Organismen auch in energetischer Beziehung eine eigenartige Stellung zu. In der That ist ihr Lebensprozess sowohl von dem der Tiere wie von dem der grünen Pflanzen durchaus verschieden. Die weitere Untersuchung lehrt

jedoch, dass ähnliche Vorgänge, wie sie durch jene Organismen herbeigeführt werden, auch in den Lebensprozessen der Tiere wie der Pflanzen nicht fehlen.

Die verschiedenartigen Wirkungen, welche Mikroben aller Art in organischen Stoffen hervorrufen, die Zerlegung von Zuckerarten bei der sogenannten Gärung (vgl. Kap. 10 § 4), die hydrolytische Spaltung der Polysaccharide in einfachere Kohlenhydrate (ebenda § 9), von sehr komplizierten Proteinstoffen in einfachere durch hydrolytische Spaltung (ebenda § 17) und viele ähnliche Prozesse, von denen im vorigen Kapitel die Rede war, bezeichnet man als Fermentwirkungen. Ähnliche Wirkungen kann man aber auch durch gewisse Drüsensekrete sowie durch Extrakte der Drüsen oder gewisser tierischer und pflanzlicher Gebilde erhalten. Dahin gehören die wiederholt erwähnten Spaltungen der Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette durch die Verdauungssekrete (vgl. Kap. 11 § 3) und andre, noch zu erwähnende Vorgänge.

Ähnlich wie bei den Drüsenzellen ist es auch bei vielen anderen Zellen oder selbständig lebenden Mikroben gelungen, durch Extraktion mit Wasser oder durch Auspressen eine Flüssigkeit zu erhalten, welche die gleichen Wirkungen hervorrufen kann wie die lebenden Zellen selbst. Um diesen Unterschied hervorzuheben, hat man diejenigen Zellen, welche durch die mit ihrem Lebensprozess verbundenen Wirkungen chemische Umsetzungen hervorrufen, geformte Fermente genannt, dagegen die in die Extrakte, Presssäfte u. s. w. übergehenden Stoffe, welche gleicher Wirkungen fähig sind, ungeformte oder lösliche Fermente. Für letztere ist neuerdings noch mehr das von W. Kühne vorgeschlagene Wort Enzyme gebräuchlich geworden.

Die Frage, ob die geformten Fermente ihre Wirkungen durch einen von ihnen erzeugten, eventuell auch aus der Zelle extrahierbaren Stoff ausüben, hat sehr viel Ähnlichkeit mit der oben schon aufgeworfenen (s. § 2), ob lebende Zellen die ihnen eigentümliche Fähigkeit, Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette, welche in ihren Bereich kommen, unter Umständen, unter denen sie sich außerhalb des Organismus nicht mit Sauerstoff verbinden würden, zur Oxydation zu bringen, nur innerhalb ihres Gefüges auszuüben vermögen, also erst, nachdem die zu verbrennenden Stoffe Bestandteile der Zelle selbst geworden sind, oder ob sich diese Fähigkeit auch auf die die Zellen umspülende Flüssigkeit erstreckt. Die Frage ist bis jetzt noch unentschieden[1]). Für manche der uns

[1] Löw und Bokorny haben gefunden, dass lebende Zellen die Fähigkeit haben, verdünnte Lösungen von Silbersalzen zu reduzieren. Die Reaktion tritt aber nur innerhalb der Zellen, nicht in der sie umspülenden Lösung ein.

jetzt beschäftigenden spezifischen Wirkungen ist es aber unzweifelhaft, dass sie auch außerhalb der lebenden Zellen vor sich gehen, selbst da, wo es nicht gelungen ist, das wirksame Enzym von den Zellen zu trennen und in Lösung zu bringen. Bakterien z B. können, da sie von festen Häuten umschlossen sind, ungelöste und schwer diffusible Stoffe nicht aufnehmen. Es giebt aber zahlreiche Bakterien, welche, wenn sie auf Leim, Eiweiß oder Stärke wachsen, diese Stoffe durch die von ihnen abgesonderten Enzyme in Lösung bringen, sie verflüssigen, gerade so wie es die Verdauungssekrete thun. Wir dürfen daher wohl annehmen, dass viele, wenn nicht alle sogenannten geformten Fermente ihre Wirksamkeit der Erzeugung spezifischer Enzyme verdanken, und werden vielleicht dahin gelangen, den Unterschied zwischen geformten und ungeformten Fermenten ganz fallen zu lassen.

Bis jetzt ist dies noch nicht vollständig möglich, doch ist die besonders von Pasteur vertretene Anschauung, dass die Fermentwirkung innig an den Lebensprozess der Zellen gebunden sei, gerade in jüngster Zeit stark erschüttert worden. Die Ansicht von Pasteur gründete sich vorzugsweise auf seine Untersuchungen über die alkoholische Gärung durch Hefezellen. Es ist aber im Jahre 1897 E. Buchner gelungen, auch aus Hefezellen durch Zerreiben und Auspressen unter hohem Druck einen Saft zu gewinnen, welcher Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd zerlegt.

Die in den Verdauungsdrüsen der Tiere erzeugten und einige in Pflanzen auftretende ähnliche Enzyme lassen sich sehr leicht extrahieren. Wir erwähnen sie hier des Zusammenhanges wegen kurz, da von ihnen schon wiederholt die Rede war (vgl. Kap. 10 § 9, 13 und 17). Man unterscheidet proteolytische, amylolytische und fettspaltende Enzyme. Manche Drüsen erzeugen nur ein Enzym, andere mehrere, entweder in denselben oder in verschiedenen Zellen eines und desselben Drüsenabschnittes. Das Pankreassekret der Säugetiere z. B. enthält alle drei Arten von Enzymen. Durch die proteolytischen Enzyme werden alle Proteinstoffe, unlösliche wie lösliche, in die leicht löslichen und ziemlich leicht diffusiblen Albumosen und Peptone, durch die amylolytischen werden Stärke und andere unlösliche Polysaccharide in einfachere Di- und Monosaccharosen umgewandelt, durch die fettspaltenden werden Neutralfette in Glyzerin und Fettsäuren gespalten, welche letzteren sich mit den vorhandenen Alkalien zu Seifen verbinden können. Alle diese Enzyme spielen bei der Verdauung eine sehr wichtige Rolle, indem sie unlösliche und nicht diffusible Stoffe in lösliche und diffusible verwandeln und damit die Resorption der Nahrungsstoffe ermöglichen (vgl. Kap. 11 § 3). Erst dadurch

werden die Nahrungsstoffe befähigt, in die Körpersäfte (Blut u. s. w.) überzugehen und sich im ganzen Körper zu verteilen.

Ähnliche Enzyme sind auch im Leben der grünen Pflanzen von großer Bedeutung. Die an einzelnen Stellen, besonders in den Chlorophyllkörpern, abgelagerten Nahrungsstoffe müssen nach den Orten des Verbrauches transportiert werden. Das ist nur möglich, wenn die zum Teil vollkommen unlöslichen Stoffe vorher in lösliche umgewandelt werden. Am deutlichsten ist das an der Stärke zu erkennen, welche nur in den vom Licht getroffenen Chloroplasten erzeugt wird, bei Mangel der Belichtung aber verschwindet (vgl. Kap. 15 § 12). Die transportierten Stoffe dienen zum Aufbau neuer Gewebssubstanz an zuweilen weit entfernten Orten. Da die Bildung der Stärke und der sekundär entstehenden Proteine oder Fette bei reichlicher Belichtung in viel stärkerem Maße erfolgt als der Verbrauch, zu anderen Zeiten aber wieder der Verbrauch größer ist als die Neubildung, so werden die Vorräte an bestimmten Stellen abgelagert, welche man deshalb Reservestoffbehälter nennt.

Reich an Reservestoffen sind u. a. die Samen. Auf ihre Kosten wächst der Embryo zu einer jungen Pflanze heran, bis diese durch Bildung von Chlorophyll in den Keimblättern in die Lage versetzt ist, selbstthätig organische Stoffe aus dem Kohlendioxyd der Luft, dem Wasser und den Salzen des Bodens herzustellen (vgl. Kap. 15 § 4). Um in die Zellen des Pflanzenembryos eindringen und zum Wachstum und zur Vermehrung derselben Verwendung finden zu können, müssen die in unlöslicher Form im Samen vorhandenen Stoffe in lösliche umgewandelt werden. Das geschieht durch Enzyme, welche bei der Keimung im Samen entstehen und aus ihm durch einfache Extraktion mit Wasser zu gewinnen sind. In großem Maßstab findet diese Extraktion in der Bierbrauerei bei Bereitung der sogenannten Maische aus Malz statt.

Die Gerstenkörner werden angefeuchtet und in Haufen aufgeschichtet. Sie beginnen je nach der Temperatur schneller oder langsamer zu keimen; es entwickelt sich ein Würzelchen und ein Keimblatt. Da es nicht in der Absicht des Brauers liegt, Gerstenpflanzen zu ziehen, so werden die jungen Pflanzen durch Erhitzen (Darren) abgetötet und die hervorgesprossten Wurzeln und Keimblätter von den Gerstenkörnern durch Reibung abgerissen. In dem so erzeugten Malz findet sich ein proteolytisches und ein amylolytisches Enzym. Das zerquetschte (geschrotete) Malz wird mit Wasser verrührt; in dieser Mischung, der Maische, geht die Verzuckerung der Stärke und die Peptonisierung der Eiweißkörper vor sich. Das entstehende Produkt, die zuckerhaltige Bierwürze, wird von den Hülsen der Gerstenkörner (den Trebern) und von den Proteinen möglichst vollständig befreit und dann durch Hefe zu Bier vergoren.

Das aus dem Malz extrahierbare amylolytische Enzym führt den Namen Amylase oder Diastase. Es wirkt auf Stärke ähnlich wie das Speichelenzym, indem es sie in Dextrin und Maltose hydrolytisch spaltet. Die Hydrolyse erfordert nur sehr geringe Mengen von Diastase; man kann daher mit dem Extrakt einer kleinen Malzmenge sehr große Mengen von Stärke in Dextrin und Maltose überführen.

Auch die Rhizomknollen, die fleischigen Blätter der Zwiebeln und viele andere Teile grüner Pflanzen sind reich an Reservestoffen. Auch aus ihnen können, wie aus Samen, neue Pflanzen entstehen. Die diesen Pflanzenteilen in löslicher Form zugeführten Stoffe werden in ihnen in unlöslicher Form abgelagert und wandern später, abermals in lösliche zurückverwandelt, an die Orte des Verbrauchs, hauptsächlich zu den Vegetationspunkten, wo sie zum Aufbau neuer Triebe dienen. Die sich hier entwickelnden Zellen erhalten ihre Nährstoffe also in gelöster und diffusibler Form; sie brauchen sie nicht erst zu verdauen. Die Verdauung ist in den Zellen der Reservestoffbehälter vor sich gegangen, gerade so wie bei höheren Tieren die Verdauung im Darmkanal vor sich geht, und wie von ihm aus die Zellen der anderen Körperteile die Nahrungsstoffe in flüssiger und diffusibler Form zugeführt erhalten.

11. Es giebt eine große Zahl von Enzymen, von denen jedes eine bestimmte und nur diese chemische Wirkung auszuüben vermag. Da es noch nicht gelungen ist, die Enzyme in chemisch reinem Zustande darzustellen, vermögen wir nicht zu sagen, ob die Enzyme verschiedener Herkunft, welche gleiche Wirkungen haben, untereinander identisch sind. In dem Zustand, wie sie durch Extraktion aus den zymotisch wirksamen Zellen der höheren Lebewesen oder aus Mikroben gewonnen werden, zeigen sie einige Reaktionen, welche auch den Proteinstoffen zukommen, weshalb sie vielfach als solche angesehen werden.[1]) Beim Erwärmen auf etwa 80° büßen sie ihre Wirksamkeit ein, dagegen sind sie ziemlich unempfindlich gegen viele Gifte, welche für lebende Zellen schädlich sind. Man ist daher im stande, bei der Untersuchung der Wirkungen der Enzyme durch Zusatz geringer Mengen von Chloroform, Salicylsäure u. dgl. die gleichzeitige Wirkungen lebender Zellen (Fäulnisbakterien), welche sonst sehr störend werden könnte, auszuschließen. 11. Spezificität der Enzyme.

[1]) Extrahiert man enzymhaltige Gewebe (z. B. eine fein zerkleinerte Drüse) mit Wasser und erzeugt in diesem einen Niederschlag, etwa durch Zusatz einer alkoholischen Lösung eines in Wasser unlöslichen Stoffes, so werden die Enzyme von dem Niederschlag mitgerissen und können von diesem durch Extraktion wieder getrennt werden. Durch Wiederholung dieses Verfahrens kann man sie bis zu einem gewissen Grade von den anderen, ihnen beigemischten löslichen Stoffen befreien.

Amylolytische Enzyme werden abgesondert von den Speicheldrüsen und dem Pankreas der Tiere, sind auch im Pflanzenreich ungemein verbreitet. Proteolytische Fermente sind im Sekret der Magendrüsen, des Pankreas, der Darmdrüsen, in den Sekreten der Drüsen der insektenfressenden Pflanzen, im Milchsaft von *Carica papaya* gefunden worden, ihre Gegenwart muss aber, wie schon bemerkt wurde, bei dem Stofftransport in allen Pflanzen ebenso wie die der amylolytischen Enzyme vorausgesetzt werden. Ein fettspaltendes Enzym, dem man den Namen Steapsin gegeben hat, findet sich im Pankreassekret. Außer diesen bei der Löslichmachung der Nahrungs- und Reservestoffe im Tier- und Pflanzenreiche wirksamen und daher für die Ernährung bedeutsamen Enzymen kommen andere, weniger allgemein verbreitete, aber in gleicher Richtung wirkende vor, von denen einige im zehnten Kapitel erwähnt wurden (z. B. Emulsin). Die zahlreichen, von Bakterien und anderen Pilzen durch abgesonderte Enzyme hervorgerufenen Wirkungen wurden im vorigen Kapitel besprochen. Ähnliche chemische Umsetzungen werden auch vielfach von lebenden Organismen ausgeübt, ohne dass es bis jetzt gelungen wäre, ein Enzym aus ihnen zu isolieren. Die Enzyme haften, wie es scheint, mit sehr verschiedener Festigkeit an den Zellen, in denen sie bereitet werden. Tötet man Hefepilze durch starkes Austrocknen, durch Chloroform oder Toluol, so hört ihre Gärwirkung auf, sie können Glykose nicht mehr in Alkohol und Kohlendioxyd zerlegen. Das invertierende Enzym dagegen, welches Rohrzucker in Glykose und Fruktose spaltet (Kap. 10 § 7), kann man aus solchen abgetöteten Zellen leicht extrahieren.

Ein großer Teil der chemischen Umsetzungen, welche durch die Gegenwart der Enzyme hervorgerufen werden, lässt sich als hydrolytische Spaltung auffassen (vgl. Kap. 10, § 9 u. 17), wie sie auch durch Kochen mit Säuren und ähnliche Mittel erzielt werden kann. Während aber diese Mittel auf alle möglichen nach Art der Anhydride oder Ester zusammengesetzten Stoffe spaltend wirken, wirkt jedes Ferment nur auf eine bestimmte Gruppe von Stoffen oder nur auf einen ganz bestimmten Stoff zerlegend ein, ja manche allein auf die rechts- oder linksdrehende Modifikation einer organischen Verbindung. Hiervon wurden schon im zehnten Kapitel einige Beispiele angeführt. Diese Umstände haben bisher noch keine befriedigende Erklärung gefunden.

Charakteristisch für alle Enzymwirkungen ist, dass eine außerordentlich kleine Menge von Enzym große Mengen des betreffenden Stoffs umzuwandeln vermag. Nur die Geschwindigkeit, mit welcher der Prozess abläuft, wird größer, wenn eine größere Menge von Enzym zugefügt wird; abgesehen davon aber setzt sich die Umwand-

lung fort, bis entweder die ganze vorhandene Menge des Stoffes in die Endprodukte der spezifischen Spaltung übergeführt ist, oder sie kommt zum Stillstand, wenn unter den Spaltungsprodukten solche vorhanden sind, welche auf die Enzyme hemmend einwirken. Sorgt man dafür, dass diese schädlichen Spaltungsprodukte entfernt werden, so kann man mit einer noch so geringen Menge des Enzyms sozusagen unendliche Stoffmengen zerlegen.[1]) Daraus folgt, dass jedenfalls die Wirkung nicht in der Art gewöhnlicher chemischer Reaktionen vor sich geht, welche sich nur in bestimmten Gewichtsverhältnissen vollziehen. Enzyme wirken sozusagen nur durch ihre Gegenwart, ohne sich chemisch an den eintretenden Reaktionen zu beteiligen. Man hat deshalb ihre Wirkung mit der sogenannten Kontaktwirkung der Metalle verglichen. Die Analogie ist aber eine sehr oberflächliche und kann nicht zur wirklichen Aufklärung des Sachverhalts beitragen. Etwas mehr Wert hat die zuerst von LIEBIG angedeutete, später von NÄGELI weiter ausgeführte Hypothese, nach der die in lebhaften Schwingungen befindlichen Atome der Enzyme ihre Energie zum Teil auf die mit ihnen in Berührung kommenden Molekeln übertragen und diese durch die gesteigerten Atomschwingungen zum Zerfall bringen sollen. Aber auch in dieser Form erklärt die Hypothese nicht genügend, warum ein jedes Enzym nur auf eine bestimmte Art von Stoffen einwirkt und ganz bestimmte, ihm eigentümliche Zersetzungsprodukte liefert, während es auf andere Stoffe, welche zuweilen eine sehr ähnliche chemische Konstitution haben, ganz unwirksam sein kann.

Trotz der großen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, welche man unter dem Begriff der Enzymwirkungen zusammenfasst, kommen doch alle hierher zu rechnenden Stoffumsetzungen darin überein, dass sie exothermische Prozesse sind. Dadurch wird es auch erklärlich, warum schon äußerst geringe Mengen eines Enzyms imstande sind, unbegrenzte Mengen von Stoffen chemisch umzuwandeln. Exothermische Prozesse gehen, wenn sie einmal eingeleitet sind, wie wir schon gesehen haben, fort, solange noch umwandelbare Substanz vorhanden ist. Die exothermische Natur der durch Enzyme eingeleiteten Vorgänge ist für viele Fälle bewiesen, sei es, dass experimentell dargethan wurde, dass sie unter positiver Wärmetönung

[1]) Da die Enzyme sowohl, wie die Stoffe, auf welche sie einwirken, in der Regel schwer diffusibel, die Umwandlungsprodukte dagegen meist leicht diffusibel sind, so kann man die schädigende Wirkung der letzteren beseitigen, indem man sie durch Dialyse entfernt. Man kann dann immer neue Mengen des zymotisch zu verändernden Stoffs in den Dialysator eintragen und größere Mengen der Umwandlungsprodukte gewinnen, trotzdem die Menge des wirkenden Enzyms sehr gering ist.

verlaufen, sei es, dass festgestellt werden konnte, dass die Endprodukte der Prozesse eine geringere Verbrennungswärme haben als die Stoffe, aus denen sie entstanden sind. Wo dieser experimentelle Nachweis noch nicht erbracht ist, sprechen doch Wahrscheinlichkeitsgründe dafür, dass es so ist. In den wenigen Fällen aber, wo nachweislich endothermische Prozesse von einigen Forschern bisher gleichfalls für Enzymwirkungen gehalten worden sind, wird es geratener sein, dieselben vorläufig auszuscheiden und die Aufklärung derselben auf andere Weise zu versuchen. Man gewinnt durch diese Beschränkung des Begriffs auf Vorgänge von chemisch gleichartiger Natur an übersichtlicher Klarheit der Darstellung.

Die bei zymotischen Vorgängen frei werdenden Mengen kinetischer Energie sind meistens sehr gering, so dass es oft sehr feiner Beobachtungsmittel bedarf, um sie überhaupt nachzuweisen. Dadurch wird es verständlich, warum die durch ein Enzym eingeleiteten chemischen Umwandlungen immer nur langsam verlaufen und in hohem Grade von der Umgebungstemperatur abhängen. Ist diese sehr niedrig, so werden die geringen, durch den chemischen Umwandlungsprozess erzeugten Wärmemengen schnell nach außen abgeleitet, können also nicht zur Fortsetzung des Prozesses dienen. Derselbe gerät dann leicht in Stockung, was meistens in der Nähe des Gefrierpunkts einzutreten pflegt. Bei höherer Temperatur dagegen verläuft die Umsetzung schnell und erreicht, in den meisten Fällen bei etwa 40° ein Maximum der Geschwindigkeit. Erhöht man die Temperatur noch weiter, so tritt wieder eine Abschwächung der Wirkung ein, und bei Erhitzung auf mehr als 70° werden fast alle Enzyme ganz unwirksam, vermutlich infolge einer chemischen Zersetzung, einer Veränderung der Struktur ihrer wahrscheinlich sehr kompliziert gebauten Molekeln. Ist die Wirkung eines Enzyms durch Erwärmung aufgehoben, dann bleibt der bis dahin noch nicht angegriffene Teil der Stoffe, auf welche das Enzym einwirkt, unverändert. Um den Umwandlungsvorgang wieder in Gang zu bringen, muss man neues, noch nicht verändertes Enzym hinzufügen. Wenn dagegen die Temperatur nicht so weit gesteigert worden war, um alles Enzym zu vernichten, so dauert der Umwandlungsprozess fort mit der jedem Temperaturgrade entsprechenden Geschwindigkeit.

12. Assimilation.

12. Zymotische Prozesse kommen, wie wir gesehen haben, bei allen Lebewesen vor und spielen bei der Verdauung und dem Transport der Nahrungsstoffe an die Stellen des Verbrauchs, sowohl bei Tieren wie bei grünen Pflanzen, eine sehr wichtige Rolle. Die durch Enzyme löslich gewordenen und den Zellen eines Organismus zugeführten Stoffe müssen geeignet sein, zum Ersatz der durch den Stoffwechsel verbrauchten Stoffe und eventuell zum Wachstum, d. h.

zur Bildung neuen, den vorhandenen Zellen gleichartigen Materials zu dienen. Die lebenden Zellen besitzen das elektive Vermögen, aus dem Gemenge der sie umspülenden, im Intercellularsaft gelösten Stoffe die für sie brauchbaren zu verwenden, die anderen entweder gar nicht aufzunehmen oder sie, wenn sie durch Diffusion eingedrungen sind, unverändert wieder auszuscheiden.

Wie dies geschieht, ist in manchen Fällen nicht schwer zu verstehen. Leicht diffusible Peptone, Glykosen u. dgl. werden in den Zellen in schwer oder gar nicht diffusible, zum Teil in ganz unlösliche Verbindungen umgewandelt. Die entstehenden unlöslichen oder zwar löslichen, aber schwer diffusiblen Stoffe haben alle ein höheres Molekulargewicht. Da die komplizierter gebauten Stoffe einen geringeren osmotischen Druck ausüben als die Stoffe, aus denen sie entstanden sind, so kann die osmotische Einwanderung der letzteren fortdauern, während die Auswanderung der aus ihnen entstandenen Stoffe aus der Zelle sehr erschwert ist. Die entstehenden Stoffe sind Proteinstoffe, Kohlenhydrate und Fette; von Kohlenhydraten kommt hauptsächlich Stärke, in den Wurzeln von Dahlien, bei Helianthus tuberosus und anderen Pflanzen auch Inulin, bei Tieren Glykogen vor. Fasst man die Wirkung der Enzyme, welche aus Proteinen Peptone, aus Polysaccharosen Di- und Monosacharosen u. s. w. erzeugen, als Vorgänge von der Art der hydrolytischen Spaltung auf, so sind die hier erwähnten synthetischen Prozesse als Fälle von Anhydrisierung anzusehen. Sie sind endothermische Vorgänge, zu deren Zustandekommen ein Teil der aus anderen Vorgängen stammenden Energie verbraucht wird.

Diese Vorstellung setzt voraus, dass dem Zellprotoplasma die Fähigkeit zukomme, aus den einfacheren Stoffen durch Synthese wieder kompliziertere zusammenzusetzen. Dass dieses Vermögen den Pflanzenzellen zukommt, ist unzweifelhaft. Wir müssen es aber auch den tierischen Zellen zuschreiben, da auch diesen das Nährmaterial nur in löslichen und diffusiblen Formen zugeführt wird. Die Lebensvorgänge in den tierischen, wie in den pflanzlichen Zellen setzen sich also immer aus endothermischen und exothermischen Prozessen zusammen. Je nachdem die einen oder die anderen überwiegen, verläuft der Lebensprozess des ganzen Wesens entweder mit positiver oder mit negativer Wärmetönung.

Die zugeführten Stoffe haben, insbesondere bei Tieren, nur selten genau dieselbe chemische Konstitution wie die Körperbestandteile, welche die Zellen aus ihnen aufbauen. Viele Tiere können sich nur von Pflanzensubstanz ernähren; trotzdem findet man in ihren Organen nicht die aufgenommenen Stoffe wieder, sondern die für Tiere charakteristischen Proteinstoffe, Polysaccharide und Fette. Aus Kleber, Legumin und ähnlichen Proteinstoffen bereitet ein Tier Albumine, welche

jenen zwar in vielen Stücken ähnlich, aber doch von ihnen verschieden sind, z. B. das Kasein der Milch. Auch die tierischen Fette sind nicht vollkommen identisch mit denen, welche in der Nahrung aufgenommen wurden; es giebt auch Gründe für die Annahme, dass aus Kohlenhydraten, vielleicht sogar aus Proteinstoffen im Tierkörper Fett entstehen kann. Das deutlichste Beispiel aber bieten die Kohlenhydrate selbst. Die Stärke der Nahrung wird durch Enzyme in einfachere Saccharosen zerlegt; aus diesen wird aber im Tierkörper nicht wieder Stärke, sondern das von ihr verschiedene Glykogen gebildet. Manche charakteristischen Stoffe kommen nur in ganz bestimmten Geweben vor.

Daraus geht hervor, dass jede Zelle die Eigenschaft hat, bestimmte Stoffe synthetisch zu erzeugen, wenn ihr die dazu erforderlichen Substanzen zur Verfügung stehen. Wir bezeichnen diese Eigenschaft aller Zellen, ganz bestimmte, den in der Zelle schon vorhandenen ähnliche Stoffe aus verschiedenem Material herzustellen, als Fähigkeit der Assimilation.

Für die Assimilation ist die Zerlegung der komplizierten Stoffe in einfachere, wie sie durch die Wirkung der Enzyme erfolgt, von Wichtigkeit. Stärke und Glykogen sind Polysaccharide; wird Stärke in die einfacheren Saccharosen zerlegt, so kann aus diesen, nachdem sie entstanden sind, das anders beschaffene Glykogen zusammengesetzt werden, während eine direkte Umwandlung von Stärke in Glykogen unmöglich wäre. Ähnlich ist wahrscheinlich das Verhältnis der Peptone zu den aus ihnen entstehenden verschiedenen Proteinstoffen.

Wir gebrauchen die Bezeichnung Assimilation in einem etwas allgemeineren Sinne, als dies in der Pflanzenphysiologie üblich ist, wo man darunter nur die Erzeugung komplizierter organischer Verbindungen unter Zerlegung des Kohlendioxyds in den chlorophyllhaltigen Zellen versteht. Da aber jede Zelle aus dem ihr zugeführten Material solche Stoffe bereiten kann, welche den in ihr vorhandenen ähnlich oder ganz gleich sind, so passt das Wort auf alle diese Vorgänge. In diesem Sinne haben wir es schon bei Besprechung der Ernährungsvorgänge der Amöbe benutzt (Kap. 12 § 5).

13. Grüne Pflanzen.

13. Während die bisher betrachteten Lebensvorgänge der Tiere und der chlorophyllfreien Pflanzen, trotzdem auch bei ihnen einzelne endothermische Prozesse vorkommen, in ihrer Gesamtwirkung exothermischer Natur sind, liegt die Sache bei den grünen Pflanzen genau umgekehrt. Neben in geringem Grade sich abspielenden exothermischen Prozessen sind die endothermischen in dem Maße überwiegend, dass sie die ersteren ganz in den Hintergrund drängen. Was die grüne Pflanze aufnimmt, Kohlendioxyd, Wasser, Salze hat keine oder doch keine nennenswerte, was in ihr entsteht, Kohlen-

hydrate, Fette, Proteinstoffe hat eine beträchtliche Verbrennungswärme. Einen geringen Teil der von ihr aufgespeicherten organischen Stoffe verzehrt die Pflanze selbst wieder unter Verbrauch von Sauerstoff und Erzeugung von Kohlendioxyd (s. Kap. 14 § 5). Aber dieser Teil ihrer Lebensvorgänge tritt sehr zurück gegen die viel mächtigere Synthese von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinstoffen. Wir können diese Synthesen nicht nachahmen, um sie kalorimetrisch auf ihre Wärmetönung zu untersuchen. Die Vergleichung der Verbrennungswärmen der abgelagerten Kohlenhydrate, Fette und Proteine mit den Verbrennungswärmen des Kohlendioxyds, Wassers und Kaliumnitrats, aus denen jene entstehen, berechtigt uns aber, mit aller Bestimmtheit zu behaupten, dass die Prozesse, durch welche die Pflanzen die ersteren Stoffe aus den letzteren bilden, zu den endothermischen gehören müssen.

Für die Beantwortung der Frage, woher die zur Bestreitung dieser endothermischen Prozesse erforderliche Energie stamme, ist von entscheidender Bedeutung die Thatsache, dass die Ablagerung von Stärke in den chlorophyllhaltigen Zellen nur unter Mitwirkung des Sonnenlichtes stattfindet, und dass erst aus den so gebildeten Kohlenhydraten sekundär die Proteinstoffe entstehen. Es drängt sich also die sehr naheliegende Vermutung auf, dass es die Sonnenstrahlen sind, welche die zu jenen endothermischen Prozessen erforderliche kinetische Energie liefern. Endothermische Prozesse können, wie wir gesehen haben, nur andauern, wenn die Zufuhr kinetischer Energie von außen stetig stattfindet. Damit ist es im Einklang, dass in grünen Pflanzen eine stetige Abnahme der aufgespeicherten Stoffe stattfindet, und dass sie schließlich zu Grunde gehen, wenn sie dauernd vom Licht abgeschlossen werden, während solche Stoffe wieder neu gebildet werden, sobald dem Licht wieder Zutritt gestattet wird. Einzelne Teile der Pflanzen können im Dunkeln auf Kosten der schon fertig gebildeten Stoffe wachsen; die Pflanze als Ganzes nimmt aber, wegen der in ihr vorgehenden Atmung, an Gewicht ab, selbst wenn sie Wasser und Salze ungehindert aufnehmen kann. Sie stirbt zuletzt, ganz wie ein Tier, welches ungenügend ernährt wird.

Zur Erzeugung von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinstoffen bedürfen also die grünen Pflanzen des Sonnenlichtes. Das, was wir Licht nennen, haben wir uns als eine Form kinetischer Energie des Äthers (Ätherschwingungen) vorzustellen, welche ähnlich wie andere Energieformen in mannigfacher Weise umgeformt werden kann (vgl. Kap. 5 § 14). Die Zerlegung von Silberchlorid durch Licht z. B. kann vollkommen mit der Zerlegung des Kohlendioxyds in den grünen Pflanzen verglichen werden. Ein Unterschied der beiden

Vorgänge besteht allerdings; in den Chlorophyllkörpern, in welchen die Zerlegung des Kohlendioxyds stattfindet, verbindet sich das freigewordene Kohlenstoffatom sofort mit Wasserstoff und Sauerstoff zu einem Kohlenhydrat. Bei dieser Synthese wird wahrscheinlich Wärme frei; aber dieser Betrag ist jedenfalls kleiner, als der zur Zerlegung des Kohlendioxyds aufgewendeten Energie entspricht. Das Endergebnis ist die Bildung von Stoffen, deren Verbrennungswärme groß ist im Vergleich zu derjenigen, welche die ursprünglichen Stoffe, Kohlendioxyd und Wasser hatten. Ähnlich verhält es sich mit der Synthese der Proteinstoffe. Die algebraische Summe aller in den grünen Pflanzen vor sich gehenden chemischen Prozesse ergiebt deshalb eine negative Wärmetönung. Die endothermischen Prozesse überwiegen. Zu ihrer Unterhaltung bedarf es einer fortwährenden Zufuhr kinetischer Energie von außen, und diese kann offenbar nur von den Sonnenstrahlen geliefert werden.

14. Energiewechsel der Lebewelt als Ganzes.

14. Überblicken wir nun nochmals die einzelnen Gruppen von Lebewesen, so zeigt sich folgendes: Alle nicht chlorophyllhaltigen Lebewesen können kinetische Energie nur durch Oxydation von Stoffen frei machen, welche in grünen Pflanzen bereitet worden sind. Pflanzenfressende Tiere beziehen diese Stoffe unmittelbar aus der Pflanzenwelt, Tiere, welche sich von Pflanzenfressern nähren, mittelbar. Andere Lebewesen verwerten die potentielle Energie von schon zum Teil verwandelten, durch Lebewesen hindurchgegangenen, aber noch nicht vollkommen oxydierten Stoffen, indem sie diese auf höhere Oxydationsstufen bringen. Einige Bakterien benutzen die Oxydation von Stickstoff, Eisen, Schwefel als Energiequelle, indem sie diese Elemente oder vielmehr schwach oxydierte Verbindungen derselben in höhere Oxydationsstufen überführen. Von dem Ammoniak, den Eisen- und Schwefelverbindungen ist es sehr wahrscheinlich, dass sie aus organischen Verbindungen stammen, welche in letzter Linie nur von grünen Pflanzen unter Mitwirkung des Sonnenlichtes aufgebaut werden können. Ganz unzweifelhaft gilt dies für die von vielen Mikroben verbrauchten organischen Verbindungen. Viele Prozesse in der unorganischen Natur wie in der Lebewelt führen zur Bildung von Kohlendioxyd. Die Reduktion desselben, die Herstellung kohlenstoffreicher Verbindungen, durch deren Verbrennung wieder Energie gewonnen werden kann, findet aber im großen Maßstabe fortwährend in den grünen Pflanzen statt.

Aus alledem geht hervor, dass die unerlässliche Bedingung für alle die mannigfachen Gestaltungen organischen Lebens, welche wir kennen gelernt haben, die Herstellung verhältnismäßig sauerstoffarmer organischer Verbindungen in den grünen Pflanzen ist. Da aber diese Herstellung nur durch die Energie der Sonnenstrahlung

unterhalten wird, so folgt, dass es überhaupt keine andere Energiequelle für alles auf der Erde vorhandene Leben giebt als die Sonnenstrahlung. Die grünen Pflanzen verwerten diese Energie unmittelbar; alle anderen Lebewesen verwerten die potentielle Energie der durch die grünen Pflanzen erzeugten organischen Stoffe zur Erzeugung kinetischer Energie, indem sie die aus jenen bezogenen Stoffe wieder in höhere Oxydationsstufen, in letzter Linie in Kohlendioxyd, Wasser und Salpetersäure zurückverwandeln.

Mit diesen unmittelbar in den Lebenserscheinungen der verschiedenen Lebewesen auftretenden Wirkungen ist aber der Einfluss der Sonnenstrahlung auf den Ablauf der Lebenserscheinungen noch nicht erschöpft. Luft und Wasser, deren Mitwirkung bei der Verbreitung der zum Leben erforderlichen Stoffe wir erwähnt haben, werden durch die Energie der Sonnenstrahlung in Bewegung gesetzt. Durch die ungleiche Erwärmung der Atmosphäre an verschiedenen Stellen der Erde entstehen die Winde, welche die fortwährende Mischung der Gase bewirken und dafür sorgen, dass überall genügende Mengen von Sauerstoff für die mannigfachen Oxydationsprozesse, überall genug Kohlendioxyd für das Wachstum grüner Pflanzen vorhanden sind. Die Erwärmung des Wassers in Flüssen, Teichen, Seen hebt fortwährend große Mengen von Wasserdampf in die Luft, welcher, zusammen mit dem von Pflanzen durch Transpiration abgegebenen und dem von Tieren ausgesonderten Wasser durch die Winde überall hin verbreitet, an kälteren Orten niedergeschlagen wird und wiederum Pflanzen und Tiere mit dem zum Leben notwendigen Wasser versorgt. Indem das Wasser, der Schwere folgend, von höher gelegenen zu tieferen Orten strömt, gelangt es wieder in die großen Sammelbecken der Seen und Meere, von denen es von neuem infolge der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen in die Atmosphäre gehoben wird. Die Energie der Sonnenstrahlen unterhält somit einen fortwährenden Kreislauf des Wassers als Teil jenes Kreislaufes der Stoffe, ohne welchen das Leben nicht bestehen könnte.

Wind und strömendes Wasser befördern Keime, aus denen lebende Wesen entstehen können, an Orte, an denen sie die Bedingungen zur Entwicklung finden, und tragen die entstandenen Zersetzungsprodukte an Orte, wo sie wieder anderen Lebewesen dienen. Der Mensch greift in diese Bewegungen ein, benutzt die von der Sonne stammende Energie des Windes und des strömenden Wassers, um Mühlen zu treiben, Schiffe in Bewegung zu setzen, fördert und beschleunigt so mit Hilfe der Sonnenstrahlen den Kreislauf der Stoffe. Zu den aus Wind und strömendem Wasser und den durch Oxydation der Nahrungsstoffe in seinem und seiner Haustiere Körpern

gewonnenen Energiemengen fügt er noch die durch Verbrennung von Kohle in Maschinen erzeugte Energie, welche gleichfalls von der Sonne stammt. Denn alle Brennstoffe sind organischen Ursprungs und durch Umwandlung von Sonnenenergie entstanden, einige vor kurzer Zeit wie das Holz aus den jetzt vorhandenen Wäldern, andere wie Torf, Braun- und Steinkohle, in Pflanzen einer zum Teil schon unzählige Jahrtausende zurückliegenden Vorzeit. Durch Verbrennung dieser Kohle giebt der Mensch in Gestalt von Kohlendioxyd wieder der Atmosphäre zurück, was längst vergangene Lebewesen ihr entnommen haben, so dass es wieder in jetzt lebenden grünen Pflanzen Bestandteil von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinstoffen werden kann. Was also an Energie in irgend einer Form auf der Erde gewonnen werden kann, stammt ebenso von der Sonne wie die in den jetzt lebenden Pflanzen fortwährend neu aufgespeicherte potentielle Energie. Steinkohle, Holz u. s. w. sind, wie der englische Ingenieur Stephenson, der Erfinder der Lokomotive, gesagt hat, auf Flaschen gezogenes Sonnenlicht. Holz ist dem jungen Wein vergleichbar, welchen die Sonne der eben abgelaufenen Jahre gereift hat, Steinkohle altem abgelagertem Wein längst verflossener Zeiten. Nicht anders ist es mit demjenigen Material, welches wir zur Erzeugung strahlender Energie in Gestalt von sichtbarem Licht verbrennen. In dem Kienspahn und in der Öllampe verbrauchen wir dazu jung abgelagerte, im Steinöl oder dem aus Kohlen gewonnenen Leuchtgas, alte, abgelagerte Stoffe einer mehr oder weniger fernen Vorzeit. Wenn endlich ein Teil der aus Kohle, aus strömendem Wasser oder aus Wind gewonnenen Energie in Dynamomaschinen in elektrische Energie umgewandelt wird, lassen wir die von der Sonne stammende Energie in anderer Form von neuem erstehen, oder lassen sie von neuem als Licht erstrahlen. Wird die Dynamomaschine durch die Verbrennung von Steinkohlen in Bewegung gesetzt, dann leuchtet uns nicht nur „die Sonne Homers“, sondern diejenige Sonne wieder, deren Strahlen vor vielen, vielen Tausenden von Jahren zur Erde gelangt waren. Durch dieses wiederauferstandene Licht können wir wieder in grünen Pflanzen organische Stoffe erzeugen und so den in unermesslicher Vorzeit unterbrochenen Prozess des Kreislaufes der Stoffe von neuem in Gang bringen.

15. Einseitigkeit des Energiestroms.

15. Zwischen den im Vorstehenden geschilderten Beziehungen der Energie und dem im vorigen Kapitel dargestellten Kreislauf der Stoffe in der organischen Natur besteht ein bedeutungsvoller Unterschied. Der Kreislauf der Stoffe beschränkt sich auf die Erde mit Inbegriff der zu ihr gehörigen Atmosphäre. Soweit wir die Prozesse innerhalb dieses Bereiches verfolgen können, finden wir

überall das Grundgesetz von der Unveränderlichkeit der Materie in Geltung. Was wir durch Spektralanalyse und andere Mittel von der Materie anderer Himmelskörper wissen, lässt uns schließen, dass sie alle aus ähnlich beschaffener Materie bestehen. Wir haben keinen Grund anzunehmen, dass jenes Grundgesetz nicht auch ebenso überall im Weltenraume Geltung hat, wo überhaupt Materie vorhanden ist. Anders ist es mit der Energie. Zwar sehen wir auch hier, dass alle Energie durch Umformung einer anderen Energieform entsteht. Niemals beobachten wir etwas, das auf Entstehung neuer oder Vernichtung vorhandener Energie schließen ließe. Wir wurden aber gezwungen, trotzdem wir nur die Lebensvorgänge auf der Erde betrachteten, über die Grenzen derselben hinauszugreifen. Die Energie der Lebewelt, der Winde, des strömenden Wassers, welche auf der Erde zur Wirkung kommt, stammt von der Sonne. Die Sonne ist es, welche das Pflanzen- und Tierleben auf der Erde seit undenklichen Zeiten unterhalten hat. Sie unterhält es noch heute und wird es unterhalten, solange ihre Energie ausreicht. Der fortwährende Kreislauf der Stoffe, welche eine notwendige Bedingung für die Erhaltung alles irdischen Lebens ist, kann nur durch die Energie der Sonnenstrahlung zu stande kommen. Die Umwandlung der Stoffe mit geringer Verbrennungswärme in solche mit hoher, welche in den Pflanzen vor sich geht und welche ihrerseits Bedingung für die Unterhaltung tierischen Lebens ist, kann nur durch die Energie der Sonnenstrahlung bewirkt werden. Die Energiebewegung von der Sonne zur Erde ist aber keine Kreislaufsbewegung. Was die Erde an Energie von der Sonne empfängt, giebt sie nur zum kleinsten Teile durch Strahlung an die Sonne zurück. Ein anderer, sehr erheblicher Teil, welcher als freie Wärmebewegung auftritt, geht durch Ausstrahlung in den unendlichen Weltenraum über. Ob auch dieser auf Umwegen zur Sonne zurückkehrt, ob auch der Energiestrom ein vollkommener Kreisprozess ist, das wissen wir nicht. Wir vermögen nur mehr oder weniger wahrscheinliche Vermutungen darüber aufzustellen.

Aus sicheren Thatsachen lässt sich der Schluss ziehen, dass die Erde nicht immer in einem Zustande war, welcher organisches Leben von der Art des jetzigen, uns bekannten, möglich machte. Unter allen Hypothesen, welche über die Entstehung des jetzigen Zustandes des Weltensystems aufgestellt worden sind, erfreut sich diejenige, welche der Philosoph KANT und der Mathematiker LAPLACE unabhängig voneinander entwickelt haben, wegen ihrer inneren Wahrscheinlichkeit der allgemeinen Zustimmung aller Naturkundigen. Danach haben wir uns zu denken, dass ursprünglich alle Materie im Weltenraume verteilt war im Zustande eines feinen Nebels von sehr geringer Dichtigkeit, wie er noch jetzt in den

Kometen besteht. Aus dieser Materie entstanden an einzelnen Stellen die Weltkörper. Die Verdichtung war aber zugleich mit großer Wärmeentwickelung verbunden; die Weltkörper nahmen daher eine sehr hohe Temperatur an, welche erst nachträglich durch Ausstrahlung wieder allmählich sank, schneller bei den kleinen, langsamer bei den großen Weltkörpern.

Unter den Systemen, welche sich auf diese Art im Weltenraume bildeten, ist unser Sonnensystem eines; neben ihm bestehen noch viele, von denen wir durch das von ihnen zu uns gelangende Licht Kunde erhalten, und wahrscheinlich noch unzählige andere, von denen wir nichts erfahren. Innerhalb unseres Sonnensystems hat sich die Sonne eine hohe Temperatur bewahrt; die von ihr in Gestalt von Ätherschwingungen ausgehende, zur Erde gelangende Energie unterhält das Leben auf der letzteren. Ob die Temperatur der Sonne allmählich abnimmt, oder ob ihr Energievorrat durch Zuwachs von außen immer wieder ergänzt wird, wissen wir nicht. Wenn, wie es wahrscheinlich ist, ein Teil der Materie, welche in Gestalt von Kometen die Sonne umkreist, von Zeit zu Zeit sich mit ihr vereinigt, so müsste dadurch ihre Temperatur steigen. Jedenfalls kann die Temperatur der Sonne, wenn überhaupt, nur sehr langsam sinken. Es kann daher auch nicht wunderbar erscheinen, dass innerhalb der Zeiträume, von denen wir etwas genauere Kunde haben, keine nachweisbare Abnahme derselben stattgefunden hat. Nimmt sie aber ab, und kommt es einmal zu Temperaturgleichheit zwischen ihr und der Erde, so müsste, da Wärme nur von höher temperierten Körpern zu solchen von niedrigerer Temperatur übergehen kann, jeder Energiestrom von der Sonne zur Erde aufhören und damit die Quelle versiegen, durch welche die Lebensvorgänge auf der Erde gespeist werden.

Die so dem Sonnensystem verloren gehende Energie kann natürlich nach unseren Vorstellungen nicht vernichtet werden. Sie müsste irgendwo im Weltenraum materielle Körper treffen und deren Bewegungsenergie vermehren. Vielleicht entstehen dann neue Systeme, ähnlich unserm Sonnensystem, die sich entwickeln und wieder in den Zustand der Temperaturgleichheit verfallen, nachdem ihre Energie auf wieder andere Systeme übergegangen ist. Wir wollen jedoch diese Spekulationen nicht weiter ausspinnen, da es nur unsere Aufgabe ist, die Erscheinungen des jetzt auf der Erde bestehenden Lebens, so weit dies nach dem Stand unserer Kenntnisse überhaupt möglich ist, in großen Umrissen übersichtlich darzustellen.

Achtzehntes Kapitel.

Leistungen der Organismen.

1. Wenn in einem Organismus potentielle Energie irgend welcher Art in kinetische Energie umgewandelt wird, so können wir von einer Leistung des Organismus sprechen. Derselbe verhält sich dabei wie eine Kraftmaschine (vgl. Kap. 17 § 8). Es giebt aber Fälle, in denen die kinetische Energie nur als Umformung einer von außen einwirkenden kinetischen Energie auftritt, in denen der Organismus durch seine Mechanik nur die Form der Arbeitsleistung bestimmt, also als Arbeitsmaschine wirkt. Beispiele beider Art wurden in den vorhergehenden Kapiteln schon besprochen. Im gegenwärtigen sollen die früheren Angaben ergänzt und die wichtigeren Formen der Leistungen übersichtlich zusammengestellt werden. 1. Übersicht der Leistungen.

Die Leistungen im eigentlichen oben angegebenen Sinne können zu molekularen, zu molaren oder zu Ätherbewegungen Anlass geben. Molekularbewegung ist die Erzeugung von Wärme; molare Bewegung erscheint als Ortsveränderung von Massen in der Form von Bewegungen einzelner Teile des Organismus gegeneinander oder des ganzen Organismus im Vergleich zu den Objekten der Außenwelt (Ortsbewegung). Ebenso können wir unter diese Rubrik einreihen alle chemischen Veränderungen, welche innerhalb des Organismus vor sich gehen, da sie immer mit Lageveränderung materieller Atome verbunden sind. Wir beschränken jedoch besser diese Art von Leistung auf solche chemische Vorgänge, bei denen, wie z. B. bei der Sekretion, spezifisch wirksame Stoffe erzeugt werden. Leistungen endlich, bei denen es sich um Ätherbewegung handelt, sind die Erzeugung elektrischer Strömung oder von Licht.

Einzelne dieser Leistungen kommen allen Organismen zu, wenn sie auch bei manchen Lebewesen in sehr geringem Maaße auftreten, während sie bei anderen sehr erheblich sind. So produzieren Pflanzen wenig Wärme und mechanische Arbeit in Form von Massenbewegungen, welche wiederum bei Tieren den Hauptanteil der Leistungen ausmachen.

Eine erhebliche Schwierigkeit erwächst der naturwissenschaftlichen Betrachtung der Lebensvorgänge aus den psychischen Prozessen. Wir dürfen sie in der alle Vorgänge in Organismen behandelnden Physiologie nicht mit Stillschweigen übergehen. Wenn Lichtstrahlen, die in unser Auge fallen, neben ihren anderen physiologischen Wirkungen (s. Kap. 11 § 11) auch die Empfindung der Helligkeit mit allen den aus ihr sich ergebenden Folgen, dem bewussten Sehen, der Wahrnehmung von Objekten u. s. w. hervorrufen, so kann man, ohne der Sprache Zwang anzuthun, nicht bestreiten, dass diese Vorgänge *auch* Leistungen des Organismus sind. Dennoch sind wir nicht imstande, sie in eine der uns bekannten Energieformen einzureihen, für welche das Gesetz von der Erhaltung der Energie gilt. Bei ihrem Entstehen wird keine irgendwie messbare Energie verbraucht; sie stellen auch keine messbare Menge kinetischer Energie dar, welche in irgend welcher Art auf Materie oder Äther einwirken und diese in Bewegung setzen könnte. Aus diesem Grunde schließen wir *diese* Art von Leistungen von unserer jetzigen Betrachtung aus und behalten uns vor, auf sie an anderer Stelle zurückzukommen.

2. Wärmeproduktion.

2. *Wärmeproduktion* findet, wie schon früher bemerkt wurde, wahrscheinlich in allem lebenden Protoplasma stets statt; nachweisbar ist sie aber nur dann, wenn sie eine messbare Temperaturerhöhung zur Folge hat. Das hängt allein von dem Verhältnis der gebildeten zu der an die Umgebung abgegebenen Wärme ab. Die Abgabe geschieht durch Leitung, Strahlung und (bei den in der Luft befindlichen Teilen von Lebewesen) durch Wasserverdunstung. Die Abgabe nimmt zu mit der Größe der Oberfläche, die Produktion, wenn alle anderen Umstände gleich sind, mit der Masse der lebenden Substanz. Deshalb wird das Verhältnis der Wärmeproduktion zur Wärmeabgabe um so ungünstiger für eine merkliche, thermometrisch nachweisbare Temperatursteigerung, je geringer die Masse eines Lebewesens im Verhältnis zu seiner Oberfläche ist. So erklärt es sich, warum an den kleinsten, nur mikroskopisch sichtbaren Lebewesen Wärmebildung experimentell nur da nachgewiesen werden kann, wo große Mengen derselben auf kleinem Raum zusammengedrängt sind, während wir sonst auf ihr Vorhandensein nur aus der Analogie mit größeren Lebewesen schließen. Selbst bei kleinen, aber doch schon gut mit bloßem Auge sichtbaren Organismen ist der Nachweis schwierig und nur mit besonders guten Hilfsmitteln möglich. So hat z. B. Nobili Insekten in eine kleine Luftkammer an der einen Seite der von ihm konstruierten Thermosäule gebracht, während eine an der anderen Seite befindliche gleiche Luftkammer leer blieb; es trat dann eine deutlich nachweisbare

Erwärmung auf der ersten Seite ein. In vielen Fällen gelingt der Nachweis auch mit weniger feinen Instrumenten, wenn es möglich ist, viele Individuen derselben Art auf einen kleinen Raum zusammenzubringen, wodurch die Masse der Wärme produzierenden lebenden Substanz erheblich, die Wärmeausgabe dagegen verhältnismäßig wenig vermehrt wird. In einem Bienenstock z. B. sammeln sich im Winter die Bienen zu einem dichtgedrängten Haufen. Ein mitten in diesem angebrachtes Thermometer steigt dann um mehrere Grade über die Temperatur der Luft in der Umgebung. Dasselbe beobachtet man an einem von Samenkörnern von Getreide, Erbsen u. dgl. umgebenen Thermometer. An größeren Haufen keimender Gerste, wie sie bei der Malzbereitung aufgeschichtet werden (vergl. Kap. 17 § 10) kann die Temperaturerhöhung so beträchtlich werden, dass der Haufen sich stark erwärmt, was zum Teil auf Rechnung beigemischter Pilze zu schieben ist. Es ist auch zu beachten, dass die Wärmeproduktion wegen der bei der Keimung auftretenden lebhafteren chemischen Umsetzung besonders gesteigert ist. Das Gleiche gilt auch für die Blüten der phanerogamen Pflanzen und kann, wenn der Bau der Blüte die Wärmeausgabe nicht allzusehr begünstigt, unmittelbar durch eingeführte Thermometer nachgewiesen werden. So fand Dutrochet an den Blüten von *Arum maculatum* Temperatursteigerungen bis zu 10°; Hubert und Brogniart sahen sogar, ersterer an Blüten von *Arum cardifolium*, letzterer an solchen von *Colocasia odora*, das Thermometer um 22—25° über die Temperatur der Umgebung steigen.

An anderen Pflanzenteilen kommt es trotz der Wärmeproduktion nur zu geringen Temperatursteigerungen, weil die Wärmeabgabe zu beträchtlich ist. Diese kann sogar, namentlich durch die Wasserverdunstung, die Erwärmung nicht selten übersteigen, so dass die lebende Pflanze kälter ist als die Umgebung. Dasselbe findet man auch zuweilen bei Tieren, besonders bei solchen, deren feuchte Oberfläche wegen der Wasserverdunstung zu großen Wärmeverlusten Anlass giebt. Bringt man z. B. Frösche in einen warmen Raum mit trockener Luft, so bleibt ihre Temperatur viele Stunden lang niedriger als die der Umgebung, trotzdem sie auch unter diesen Umständen fortwährend Wärme produzieren.

Der Nachweis stattgefundener Wärmeproduktion ist natürlich besonders schwierig, wenn die exothermen Prozesse durch gleichzeitig stattfindende endothermische verdeckt werden, wie es bei grünen Pflanzen, seltener bei Tieren der Fall sein kann. Bei chlorophyllfreien Pflanzen dagegen, deren Lebensprozess, wie im vorigen Kapitel gezeigt wurde, exothermisch verläuft, kommt es gelegentlich zu sehr erheblichen Temperatursteigerungen, wenn große Mengen dieser niedrigen Organismen

zusammenwirken. Als bekannteste Beispiele möge die Erwärmung frischen Düngers oder sich zersetzenden Laubes erwähnt werden, welche bekanntlich zur Heizung von Mistbeeten in der Gärtnerei Verwendung finden, oder die starke Erhitzung aufgestapelter Grashaufen, welche sogar zur Selbstentzündung führen kann.

3. Wärmeregulierung.

3. Wir können es als ausgemacht ansehen, dass der Lebensprozess des Protoplasmas mit Wärmeproduktion verbunden ist, sofern er mit oxydativen Prozessen einhergeht, was ja, wie es scheint, immer der Fall ist. Aber nur bei den sogenannten warmblütigen Tieren sind die wärmebildenden Prozesse so lebhaft und zugleich die Bedingungen für die Wärmeabgabe so eingeschränkt, dass der Tierkörper dauernd eine die Umgebungstemperatur beträchtlich übersteigende „Eigentemperatur" behalten kann. Zugleich finden wir bei diesen Tieren Einrichtungen, durch welche die Wärmeabgabe und in gewissem Maße auch die Wärmeproduktion den Bedingungen des Wärmeverlustes angepasst wird, so dass die „Eigentemperatur" dieser Tiere, selbst bei größerem Wechsel der Umgebungstemperatur, nur innerhalb enger Grenzen zu schwanken pflegt. Wir nennen deshalb solche Tiere Homoiotherme oder Tiere mit konstanter Eigentemperatur, während wir alle anderen Tiere (wir könnten aber auch alle Pflanzen einschließen) als Tiere mit wechselnder Eigentemperatur oder Poikilotherme zusammenfassen.

Homoiotherme Tiere im strengsten Sinne sind nur die Säugetiere und die Vögel; denn alle anderen können zwar unter Umständen eine ebenso hohe oder sogar noch höhere Eigentemperatur annehmen, aber nur bei jenen bleibt die Temperatur unter verschiedenen äußeren Verhältnissen nahezu konstant. Ihre Eigentemperaturen schwanken etwa zwischen 37 und 41° bei den einzelnen Gattungen und Arten, sind aber bei jedem einzelnen Individuum unter normalen Verhältnissen meist in viel engere Grenzen eingeschlossen. Die Fähigkeit, die Eigentemperatur selbst erheblichen Schwankungen der Außentemperatur gegenüber nahezu konstant zu erhalten, welche man unter der Bezeichnung der „Wärmeregulierung" zusammenfasst, verdanken diese Tiere besondren Einrichtungen. Diese sind bisher ausschließlich an Säugetieren genauer untersucht worden. Ihre Leistungen bestehen vorzugsweise in einer Regulierung der Wärmeabgabe durch die Haut. Bei hohen Außentemperaturen erweitern sich die Hautgefäße, es strömt mehr Blut durch die Haut, und es kann, trotz der geringeren Temperaturdifferenz zwischen Tier und Umgebung[1]), doch so viel Wärme abgegeben werden, dass die

[1]) Nach dem Newton'schen Strahlungsgesetz (s. Kap. 3 § 9) muss die Wärmeabgabe dieser Temperaturdifferenz direkt proportional sein. Wenn nicht durch die Regulierungseinrichtungen die Temperatur der Haut selbst geändert

Eigentemperatur nicht erheblich steigt. Dazu kommt noch bei den in der Luft lebenden Tieren eine verstärkte Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung. Bei sehr niedriger Umgebungstemperatur wird umgekehrt durch Verengerung der Hautgefäße und Verminderung der Wasserverdunstung ein zu großer Wärmeverlust verhindert.

Die besprochenen Veränderungen in der Haut werden durch das Nervensystem geregelt. Ein unmittelbarer Einfluss des Nervensystems auf die Wärmeproduktion ist vielfach behauptet worden, konnte aber bisher nicht sicher erwiesen werden. Wohl aber kommen Änderungen der Wärmeproduktion in Betracht, wenn es sich darum handelt, während längerer Zeitperioden die Eigentemperatur gegenüber sehr weit auseinander liegenden Außentemperaturen auf nahezu gleicher Höhe zu erhalten. Homoiotherme Tiere, welche dauernd in den arktischen Regionen leben, sind außerdem in der Regel durch dichte Behaarung, stark entwickelte Fettlager unter der Haut, gedrungenen Körperbau, welcher die Oberfläche im Verhältnis zur Masse kleiner macht, vor allzugroßen Wärmeverlusten geschützt. Sie verbrauchen aber auch verhältnismäßig große Nahrungsmengen und produzieren somit viel Wärme. Menschen und Tiere, welche in sehr weit voneinander verschiedenen Temperaturen aushalten können, verzehren in kälterer Umgebung größere Mengen von Nahrung und vorzugsweise solche, die sich durch größere Verbrennungswärme auszeichnen, nämlich Fette.

Die Mittel zur Wärmeregulierung können nur innerhalb gewisser Grenzen wirksam sein. Sie versagen bei niedriger Umgebungstemperatur um so leichter, je kleiner die Tiere sind. Daher sind die kleinsten unter den homoiothermen Tieren Bewohner der heißen Zonen. Kleine Säugetiere, z. B. die zu physiologischen Versuchen so häufig benutzten Kaninchen, verdienen den Namen homoiotherme Tiere nur in geringem Grade, da ihre Eigentemperatur um mehrere Grade schwanken kann. Noch leichter versagt die Regulierung bei den sogenannten Winterschläfern, welche bei niedrigen Umgebungstemperaturen sehr stark abkühlen und dann eine nur sehr wenig die der Umgebung übersteigende Eigentemperatur aufweisen.

Man nennt die homoiothermen Tiere, weil ihre Eigentemperatur in der Regel die Temperatur der Umgebung übersteigt,[1]) häufig auch

würde, so müsste also das Tier in einer Umgebung von hoher Temperatur wenig, in einer niedrig temperierten Umgebung viel Wärme verlieren.

[1]) In sehr heißer, trockener Luft, in welcher die Wasserverdunstung ungehindert vor sich geht, kann der menschliche Körper kälter sein als die Luft. So beobachtete Benjamin Franklin in Florida, dass ein Thermometer, welches die Lufttemperatur von über 40° zeigte, sank, als er es an seine bloße Brust anlegte.

Warmblüter oder Tiere mit warmem Blute, alle anderen Kaltblüter. Die Bezeichnung stammt noch aus der Zeit, als man glaubte, die Wärme werde im Blute erzeugt, während wir jetzt wissen, dass die Stätte der Wärmeproduktion in allen Geweben zu suchen ist, dass in jedem Gewebe um so mehr Wärme frei wird, je lebhafter in ihm die chemischen Prozesse ablaufen, und dass dies im Blute selbst nur in sehr geringem Grade der Fall ist. Andererseits kann unter Umständen der Körper eines „Kaltblüters" eine höhere Temperatur annehmen, als sie die Warmblüter zu haben pflegen.

Eine weitere, aus den Bedingungen der Wärmeabgabe leicht verständliche Thatsache ist, dass homoiotherme Tiere relativ zu ihrer Körpermasse um so mehr Wärme produzieren, je kleiner ihre Masse ist. Um dies zu können, muss ihr Stoffwechsel lebhafter sein. Sie nehmen deshalb relativ mehr Nahrung auf, atmen mehr Sauerstoff ein und mehr Kohlendioxyd aus. Betrachten wir zum Beispiel zwei Individuen gleicher Art, aber von ungleichem Körpergewicht, etwa einen halberwachsenen Menschen von 35 und einen ausgewachsenen von 70 kg Gewicht, so zeigt sich, dass der erstere mehr als die Hälfte der Nahrung bedarf, mehr als die Hälfte Sauerstoff einatmet und mehr als die Hälfte Kohlendioxyd ausatmet als der Erwachsene. Sein Stoffwechsel ist ein lebhafterer; dadurch ist er imstande, sich auf der gleichen Temperatur zu erhalten, trotzdem er wegen seiner relativ größeren Oberfläche einen größeren Bruchteil der von ihm produzierten Wärme verliert.

Weder die Wärmeproduktion noch die Wärmeverluste verlaufen bei homoiothermen Tieren so gleichmäßig, dass nicht kleine Schwankungen der Eigentemperatur eintreten könnten. Noch mehr ist das bei den poikilothermen Tieren der Fall. Namentlich die Thätigkeit der Muskeln ist stets von größerer Wärmeproduktion begleitet, wovon in den folgenden Paragraphen noch die Rede sein wird. Daher erwärmen sich die Tiere durch stärkere Muskelarbeit zuweilen erheblich. Gewöhnlich gleicht sich aber diese Temperaturerhöhung nach Aufhören der Arbeit schnell wieder aus. Ebenso kann in Fällen größerer Wärmeverluste das Sinken der Körpertemperatur durch stärkere Wärmeproduktion ausgeglichen werden.

Steigt die Körpertemperatur, so nehmen alle chemischen Prozesse an Lebhaftigkeit zu, der Stoffwechsel wird lebhafter, es wird mehr Sauerstoff aufgenommen, mehr Kohlendioxyd ausgegeben, der Körper verliert mehr von seiner festen Substanz. Diese Wirkung kann bei poikilothermen Tieren leicht durch Steigerung der Umgebungstemperatur herbeigeführt werden, schwieriger bei homoiothermen, weil bei diesen durch die Regulierungsvorrichtungen die Körpertemperatur innerhalb engerer Grenzen schwankt.

4. Die in den Organismen auftretenden Massenbewegungen sind zum Teil nur mikroskopisch wahrnehmbar. Sie gehen entweder innerhalb der in Ruhe verbleibenden Gebilde vor sich oder sie führen zu Formveränderungen der Organismen, welche auch zur Ortsveränderung des ganzen Lebewesens Anlass geben kann. Die mechanische Bewegung kann zu stande kommen durch Kräfte, welche von außen auf den Organismus einwirken, oder sie wird durch innere, in den Organismen selbst frei werdende Energie erzeugt. Zu der ersteren Klasse gehört z. B. die Hebung von Wasser in den Pflanzen durch Verdunstung, zu der letzteren die durch den Wurzeldruck hervorgerufene Saftbewegung, (vgl. Kap. 15, § 11). Diese ist wahrscheinlich auf osmotische Wirkungen in den Pflanzenzellen zurückzuführen, welche wohl auch manche Flüssigkeitsbewegungen im tierischen Organismus hervorbringt, z. B. die Austreibung der Sekrete aus den Drüsenzellen. 4. Massenbewegung.

Durch Verschiebung von Flüssigkeiten und festen Körpern innerhalb eines organischen Gebildes kommen Formveränderungen zu stande von der Art, wie man sie, um einen einfachen Fall zu nennen, bei der Bildung einer mit Flüssigkeit gefüllten Blase nach leichteren Verbrennungen sieht. Sammelt sich an einer Stelle die Masse dauernd an und geht dort zugleich Vergrößerung und Vermehrung der Zellen vor sich, dann kommt es zu dauernder Gestaltsveränderung als Folge des Wachstums. Auf diese Weise sprossen an Pflanzen Blätter, Zweige u. s. w. hervor. Wenn an einem Gebilde das Wachstum einseitig erfolgt, so entstehen Krümmungen. Diese Veränderungen der Form treten gewöhnlich nur langsam ein. Aber auch plötzliche Gestaltveränderungen können durch Austritt von Flüssigkeit aus Zellen erfolgen; indem ihr Turgor (s. Kap. 7, § 8) eine Abnahme erfährt, geben sie dem Druck anderer stärker gespannter oder durch ihre Schwere wirkender Teile nach. Von Bewegungen dieser Art, welche als Folgen von Reizungen auftreten, wird im nächsten Kapitel die Rede sein.

Die hauptsächlichste Ursache von Bewegungen lebender Gebilde ist jedoch die Kontraktilität, die wir als eine allgemeine Eigenschaft des lebenden Protoplasmas an der Amöbe kennen gelernt haben (s. Kap. 12, § 4 und Kap. 13, § 6—8). In ihren verschiedenen Modifikationen als Flimmer- oder Geißelbewegung, besonders aber in ihrer ausgebildetsten Form als Muskelbewegung bildet sie eine der auffälligsten Eigenschaften der lebendigen Substanz.

Bei der mikroskopischen Beobachtung lebender Gebilde kann man leicht durch Bewegungen getäuscht werden, welche an kleinen Körnchen, wie sie häufig in den Vakuolen vorkommen, auftreten. Man muss sich sehr hüten, solche Bewegungen, welche nicht durch innere, in den leben-

den Gebilden vorhandene Kräfte hervorgerufen werden, sondern rein zufällig durch Übertragung äußerer Stöße oder Strömungen zu stande kommen, mit wirklichen Protoplasmabewegungen zu verwechseln. Kleine in der Flüssigkeit schwebende Körperchen zeigen bei genügender Vergrößerung eine Art von zitternder Bewegung, sie tanzen gleichsam hin und her. Die Wege, welche die Teilchen zurücklegen, sind sehr klein, erscheinen jedoch wegen der mikroskopischen Vergrößerung beträchtlich. Im Innern lebender Zellen tritt diese Bewegung an den Körnchen in den mit klarer Flüssigkeit gefüllten Vakuolen nicht selten auf, während die gleichen Körnchen im zähen Protoplasma entweder in Ruhe verharren oder, wenn das Protoplasma Bewegungen ausführt, an diesen teilnehmen. Wer diese Erscheinung zum ersten Male sieht, wird leicht geneigt sein, sie für eine Lebenserscheinung, die Körnchen als mit der Fähigkeit der Eigenbewegung begabt anzusehen. Weitere Erfahrungen lehren jedoch, dass auch unbelebte Körper, z. B. Körnchen von in Wasser fein verteilter chinesischer Tusche, genau dieselbe Art der Bewegung zeigen. So gelangt man zu der Erkenntnis, dass es sich um rein passive Bewegungen handeln müsse, um die Wirkungen von Flüssigkeitsströmungen, wie sie durch die unvermeidlichen Erschütterungen des Mikroskops, durch Unterschiede der Temperatur oder der Verdunstung an verschiedenen Stellen und ähnliche Ursachen hervorgerufen werden.

Man bezeichnet diese Bewegung, weil sie nur an sehr kleinen Körnchen auftritt, als Molekularbewegung oder als BROWN'sche Bewegung, nach dem schon früher erwähnten englischen Mikroskopiker ROBERT BROWN. Es ist nicht immer leicht, die BROWN'sche Bewegung von echten Eigenbewegungen kleinster lebender Teile, namentlich von der gleich zu besprechenden sogenannten Protoplasmabewegung, zu unterscheiden. Man hat zu beachten, ob nahe nebeneinander liegende Teilchen sich immer gleichzeitig in derselben Richtung bewegen, ob die Bewegung in gleichmäßigem Rhythmus erfolgt u. s. w.

5. Protoplasmabewegung.

5. Die wahren Eigenbewegungen lebender Substanz, wie wir sie an Amöben und ähnlichen Lebewesen beobachtet haben, zeigen bestimmte charakteristische Erscheinungen, welche man leicht wieder erkennt, sobald man sie durch wiederholte Untersuchung kennen gelernt hat. In zweifelhaften Fällen ist die Entscheidung in der Regel dadurch möglich, dass die wahren Lebensbewegungen erstens durch Reize erst hervorgerufen oder vorübergehend verändert werden, und zweitens, dass sie durch alle Einwirkungen, von denen wir wissen, dass sie das Leben vernichten, dauernd aufgehoben werden.

Protoplasmabewegungen kommen bei allen lebenden Wesen, Pflanzen sowohl wie Tieren, vor; auch Flimmer- und Geißelbewegung findet sich bei beiden, bei pflanzlichen Gebilden aber seltener und meistens nur bei den Jugendformen oder den die Fortpflanzung ver-

mittelnden Zellen. Echte Muskeln hat man bisher noch niemals bei einem pflanzlichen Organismus gefunden; sie müssen als eine ausschließlich den Tieren zukommende Modifikation der kontraktilen Substanz bezeichnet werden.

Findet Protoplasmabewegung innerhalb geschlossener, von festen Hüllen umgebener Räume statt, wie es bei Pflanzenzellen öfter der Fall ist, so kann sie natürlich keine Bewegung des ganzen Zellgebildes hervorbringen. Ihre Bedeutung scheint darin zu liegen, dass sie die Stoffe innerhalb der Zelle gleichmäßig verteilt und dadurch den Stoffwechsel innerhalb der Zelle unterstützt und befördert. Man sieht sie deshalb auch nicht selten in Zellen von langgestreckter Form, z. B. bei der in Fig. 52, S. 326 abgebildeten *Caulerpa*[1]), ferner bei den Zellen der *Characeen*, den Staubblatthaaren von *Tradescantia* u. a. Wo das Protoplasma als ein dünner Wandbelag einen großen centralen Vakuolenraum einschließt, wälzt sich dasselbe an den Wandungen entlang herum, was man durch die in das Protoplasma eingelagerten Körnchen erkennt. Von dieser, als Rotation bezeichneten Art der Bewegung unterscheiden die Botaniker die Zirkulation. Diese Bewegungsform tritt dort auf, wo das Protoplasma auch im Innern der Zelle in Form von Strängen, welche kleinere und größere Vakuolen einschließen, vorhanden ist, z. B. bei der in Fig. 102 dargestellten Zelle von Tradescantia virginica. Die Körnchen bewegen sich in dem Wandbelag sowohl als in den Strängen in einzelnen geschlossenen Bahnen, so dass man an einem und demselben Strang zwei entgegengesetzt gerichtete Strömungen sehen kann. Dabei teilt sich zuweilen ein solcher Strang und mit ihm die nebeneinander laufenden Ströme; die Zweige verschmelzen wieder mit anderen, auf welche sie stoßen. So wechseln die Form und Dicke der Stränge fortwährend, und auch der Kern, welcher in dem Vereinigungspunkt der Stränge liegt, wechselt seinen Platz.

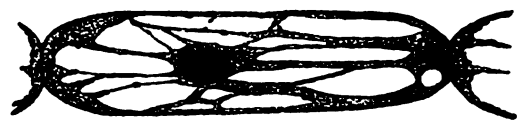


Fig. 102.

Tradescantia virginica. Zelle aus einem Staubhaar. Das als dünner Wandbelag und in Form von Strängen vorhandene Protoplasma befindet sich in fortwährender Bewegung, was man an der Strömung der in ihm enthaltenen Körnchen erkennt.

Bei nackten Protoplasmamassen kann die Bewegung, wie wir früher schon bei den Amöben ausgeführt haben, zu Lageveränderungen der ganzen Masse führen. Ähnlich ist es auch bei den größeren,

[1]) Die zarten Linien in jener Figur deuten die Richtungen an, in welchen die Strömung vor sich geht.

durch Zellverschmelzung entstandenen Protoplasmamassen der Myxomyceten (s. Fig. 64, S. 338). Die Strömung verhält sich ganz ähnlich wie die eben beschriebene innerhalb der Zellen; die Protoplasmastränge teilen sich und vereinigen sich wieder. Dabei kann auch die Richtung der Strömung und dadurch die der Verschiebung der ganzen Masse sich ändern. Geschieht dies an dem in Zellhäute eingeschlossenen Protoplasma, so sieht man die Strömung für kurze Zeit stillstehen und dann in entgegengesetzter Richtung wieder beginnen; bei den Myxomyceten ist die Strömung in keiner Richtung irgendwie beschränkt.

Die den Amöben nahestehenden beiden Ordnungen der *Rhizopoden*, welche die Zoologen *Heliozoen* und *Radiolarien* nennen, sind durch die außerordentliche Dünne und Zartheit ihrer Pseudo-

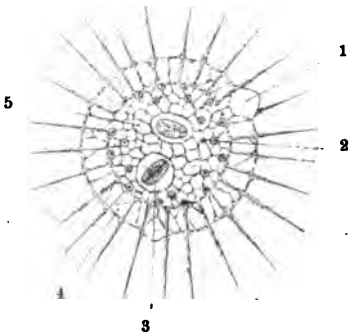


Fig. 103.

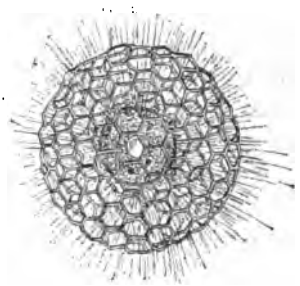


Fig. 104.

Fig. 103. Actinosphaerium Eichhorni, ein Heliozoon des Süßwassers; 1 kontraktile Vakuole; 2 Kerne; 3 Nahrungskörper; 4 Rindensubstanz; 5 Marksubstanz.

Fig. 104. Heliosphaera, im Meere lebende Radiolarie, mit Kieselskelett, Centralkapsel und gallertigem Weichkörper. Die aus dem Protoplasma der Centralkapsel kommenden feinen Pseudopodien durchsetzen den Weichkörper und ragen noch über dessen Grenze hervor.

podien ausgezeichnet. Als Beispiele verweise ich auf die in Fig. 103 und 104 abgebildeten, Actinosphaerium und Heliosphaera. Bei beiden hat der Körper Kugelgestalt; die Pseudopodien gehen in radialer Richtung von der Kugel aus. Sie bestehen abweichend von den rein protoplasmatischen Pseudopodien der Amöben, aus einem dünnen, nicht beweglichen Axenfaden und einem ebenfalls dünnen protoplasmatischen Belag. In letzterem geht eine, an die Erscheinungen bei Pflanzenzellen erinnernde Körnchenströmung in zwei entgegengesetzten Richtungen vor sich, eine vom Zentrum fort, die andere nach dem Zentrum hin. Die Fäden teilen sich zuweilen, vereinigen sich mit benachbarten und trennen sich wieder von ihnen. Die Erscheinungen sind ähnlich denen, welche bei den Zirkulationsströmungen in Pflanzenzellen und in größerem Maßstab bei Myxomyceten beobachtet werden.

6. Ortsbewegung kommt am häufigsten durch Muskeln oder Geißeln zu stande. Mächtige Geißeln oder Wimpern sind die Ruderplatten der *Ctenophoren* oder Rippenquallen. Diese sind zarte, aus einer gallertigen Grundsubstanz bestehende, meist birnförmig oder oval gestaltete, frei im Meere lebende Tiere. Sie gehören zu den Cölenteraten, dem untersten Stamm der Metazoen. Ihr Bewegungsapparat besteht aus zahlreichen, auf acht meridional verlaufenden, symmetrisch zur Achse gestellten Längsrippen aufsitzenden Ruderplatten. Sie sind S-förmig gekrümmt, der Längsrichtung nach gestreift und sind als lange, miteinander verklebte Wimpern oder Geißeln aufzufassen. Indem sich die proximale, stark konvexe 6. Ortsbewegung.

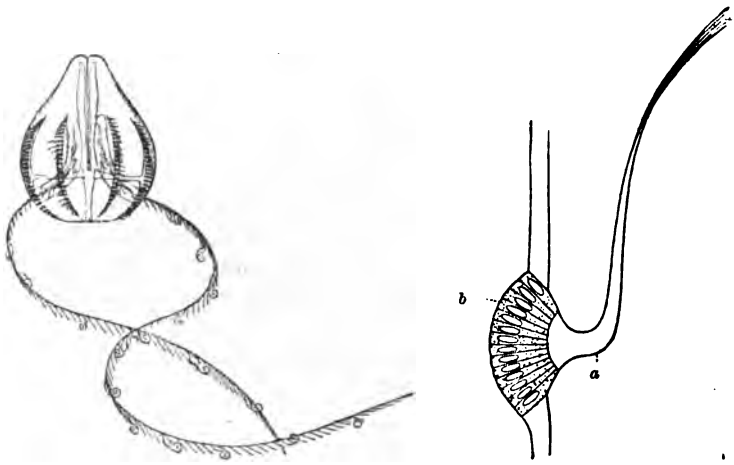


Fig. 105 A und B.

A. Hormiphera plumosa, eine Rippenqualle, mit zwei mit Klebzellen besetzten Fangfäden und acht Ruderplättchen tragenden Rippen.

B. Ein Ruderplättchen, mit dem sogenannten Epithelpolster (b) auf den Rippen aufsitzend. Die feine Längsstreifung am Ende deutet die Zusammensetzung aus miteinander verschmolzenen Wimpern an.

Krümmung bei a durch Kontraktion der Fasern ausgleicht und die Platte gerade gestreckt wird, übt diese auf das Wasser einen Druck aus, durch welchen das Tier in entgegengesetzter Richtung fortgeschnellt wird. Die Kontraktion läuft in den Ruderplatten jeder Reihe in gleichmäßiger Zeitfolge ab, an der äußersten Platte jeder Reihe beginnend und wellenartig über die Reihe fortschreitend.

Eine eigenartige Ortsbewegung hat man an den *Desmidiaceen* beobachtet. Es sind dies einzellige Algen von allerlei, zum Teil sonderbaren Formen, Halbmonde, Sterne u. dgl. Das in Zellhäute eingeschlossene Protoplasma stößt durch Öffnungen in jenen Häuten Schleimfäden hervor, welche durch ihre Zähigkeit und Klebrigkeit an der

Unterlage haften und so die Zelle selbst in entgegengesetzter Richtung vorwärts schieben. Die gleiche Art der Bewegung soll nach einigen Autoren auch bei *Diatomeen* vorkommen. Der protoplasmatische Leib dieser kleinen Algen wird von einer zweischaligen Kapsel eingeschlossen, deren Hälften, wie bei flachen Schachteln mit übergreifenden Deckeln, ineinander passen. Nach anderen Beobachtern soll die Bewegung jedoch durch echte Pseudopodien zustande kommen, welche durch Öffnungen in den Längskanten der Schalen hervorgestreckt werden.

Den höchsten Grad der Entwicklung erreicht die Kontraktilität in solchen Zellen, welche in einer Richtung erheblich wachsen, während zugleich die Kontraktilität auf diese Richtung beschränkt ist. Wir bezeichnen die so entstandenen Gebilde als Muskelfasern und die Kontraktion derselben als Verkürzung.

Die eigentliche, vollkommen ausgebildete Muskelfaser tritt in zwei Formen auf, als kontraktile Muskelzelle und als durch Vereinigung mehrerer, der Länge nach in Verbindung miteinander gebliebener Zellen entstandene Muskelfaser. Da in letzterer auch noch eine Differenzierung der kontraktilen Substanz dahin ausgebildet ist, dass sie der Länge nach abwechselnd angeordnete, hellere und dunklere Abschnitte aufweist, wird sie auch als quergestreifte, die Muskelzelle dagegen als glatte Muskelfaser bezeichnet.

Von den Muskelfasern haben wir schon im Kap. 13, § 8 gesprochen. Die langgestreckten, spindelförmigen Zellen der glatten Muskulatur haben einen gleichfalls gestreckten, stäbchenförmigen Kern. Ihre Enden sind meist sehr spitz und zuweilen korkzieherartig gewunden. In anderen Geweben verteilt oder in mehr oder minder dichten Schichten angeordnet, vermögen sie durch ihre Verkürzung die Form der Organe, in denen sie liegen, zu ändern. Am häufigsten findet man sie bei höheren Tieren in den Wandungen von Hohlräumen, Schläuchen und Röhren (Ernährungsschlauch, Blut- und Lymphgefässe) als meist doppelte Muskelschicht. Die Längsrichtungen der Fasern in den beiden Lagen stehen meist senkrecht zu einander. Bei röhrenförmigen Gebilden ist die eine Schicht von ringförmig das Röhrenlumen umkreisenden Faserzügen gebildet (daher der Name Ringfaserschicht), welche durch ihre Verkürzung das Lumen verengern.

Die quergestreiften Muskelfasern sind stets in größerer Zahl, durch umhüllendes Bindegewebe miteinander verbunden, zu eigenen Organen, den Muskeln, vereinigt. Jeder Muskel besteht also aus einer mehr oder weniger großen Zahl von Muskelfasern, welche zuweilen alle gleich lang und zueinander parallel angeordnet sind, häufiger aber verschiedene Länge und verschiedene Richtungen haben. In diesem letzteren Falle ist die mechanische Leistung, welche durch die Verkürzung der einzelnen Fasern zu stande kommt,

die Resultante aller Einzelleistungen in einer bestimmten Richtung, in welcher der Muskel zwischen beweglichen Teilen des Skelettes ausgespannt ist. Bei den Wirbeltieren sind diese gegeneinander beweglichen Teile die Knochen, bei Gliedertieren sind es Teile des Exoskelettes. Auch bei Tieren, welche kein eigentliches Skelett, aber einzelne gegeneinander bewegliche feste Gebilde besitzen, können diese durch zwischen denselben ausgespannte Muskeln gegeneinander bewegt werden. Bei Muscheln z. B. sind die beiden Schalen durch ein Gelenk miteinander verbunden. Ein straffes elastisches Band ist an der einen Seite des Gelenkes derartig ausgespannt, dass es durch seine Spannung den Winkel zwischen den Schalen vergrößert, während der mit seinen beiden Enden an den Schalen angeheftete Schließmuskel die Schalen gegeneinander presst. Manche quergestreifte Muskeln sind aber nur an einem Ende mit starren Gebilden, andere überhaupt nicht mit solchen verbunden, sondern mit Weichteilen, ähnlich wie wir dies oben von den glatten Muskelfasern erwähnt haben. Dies gilt für Tiere mit wie ohne Skelett, bei ersteren freilich nur für einen kleinen Teil ihrer Muskeln. In solchen Fällen besteht die Wirkung der Muskeln in Verschiebungen der Weichteile, oder, wenn sie Hohlräume , z. B. des Herzens, umgeben, in einer Verkleinerung des Volums der Hohlräume und in Auspressen der in ihnen enthaltenen Massen.

Es würde zu weit führen, alle die verschiedenen Arten von Bewegungen, welche von Tieren durch Muskelverkürzung ausgeführt werden können, im einzelnen zu betrachten. Beispiele davon wurden schon früher gelegentlich erwähnt, im übrigen müssen wir auf die spezielle Physiologie verweisen, in welcher die wichtigsten Formen, welche diese Bewegungen annehmen können, als da sind Gehen, Laufen, Springen, Kriechen, Fliegen, Schwimmen, im einzelnen behandelt werden. Nur um zu zeigen, in welcher von der Bewegung der höheren Tiere abweichenden Weise die Ortsbewegung zustande kommen kann, mögen hier einige Angaben über die Bewegungsorgane der Seesterne Platz finden. Diese Tiere gehören zu den Echinodermen, welche, von wenigen Ausnahmen abgesehen, einen fünfstrahligen Bau aufweisen. Sie besitzen ein aus Kalkplatten gebildetes Hautskelett, dessen Teile nur wenig, bei einigen Formen gar nicht gegeneinander beweglich sind, sondern den ganzen Körper wie ein Panzer einhüllen[1]). Zwischen zweien der fünf Strahlen, nahe der im Centrum gelegenen Mundöffnung befindet sich die siebartig durchbrochene Madreporenplatte (s. Fig. 106 u. 107, S. 476), von

[1]) Bei einer Klasse der Echinodermen, den Holothurien, ist das Hautskelett nur rudimentär. Bei der Mehrzahl ist der Panzer mit Stacheln besetzt; davon haben die Tiere ihren Namen Echinodermen, d. h. Stachelhäuter.

welcher der Steinkanal zu dem den Mund umgebenden Ringkanal führt. Am Ringkanal sitzen fünf Erweiterungen, die POLI'schen Blasen. Zwischen diesen gehen vom Ringkanal fünf Kanäle aus, welche je zwei Reihen von Seitenkanälchen abgeben; an jedem Kanälchen sitzt je ein kleines, innerhalb des Körpers gelegenes Säckchen; dann endet das Kanälchen mit einem über die Panzerfläche hervorragenden, in einer Saugscheibe auslaufenden „Ambulakralfüßchen". Das Ganze hat viel Ähnlichkeit mit dem Gastrovaskularsystem (vgl. Kap. 14 § 3.) Hier aber ist es zu einem Bewegungsapparat ausgebildet. Indem Wasser durch die Öffnungen der Madreporenplatte eingesogen und in die „Füßchen" hineingepresst wird, werden diese ausgestreckt; dann heften sie sich ver-

Fig. 106.

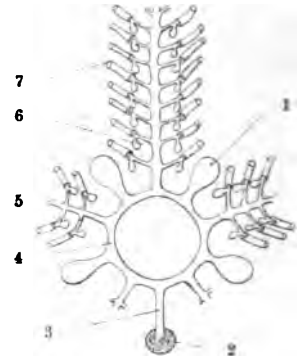


Fig. 107.

Fig. 106. Phytonaster Murrayi, ein Seestern, von der Ventralseite gesehen; die Arme sind nur zum Teil dargestellt. Man sieht die Ambulakralfurchen und die aus ihnen hervorragenden Saugscheiben der Füßchen.

Fig. 107. Ambulakralsystem eines Seesterns, schematisch. 1 Poli'sche Bläschen; 2 Madreporenplatte; 3 Steinkanal; 4 Ringkanal; 5 Ambulakralkanal; 6 Ampullen der Füßchen; 7 Füßchen.

möge ihrer Saugscheiben am Grunde fest, verkürzen sich durch Kontraktion ihrer Muskeln und ziehen den ganzen Körper nach. Der Seestern kann sich also nach fünf Richtungen kriechend fortbewegen. Legt man ihn auf den „Rücken", d. h. die den Füßchen entgegengesetzte, bei den Bewegungen obere Fläche, so greift er so lange mit seinen „Armen" umher, bis er einen festen Gegenstand findet, an den er sich mit den Saugscheiben anheften kann; dann gelingt es ihm sich umzudrehen.

7. Eigenschaften der quergestreiften Muskeln.

7. Unsere Kenntnisse von den physiologischen Eigenschaften der Muskeln sind fast ausschließlich durch Untersuchung der quergestreiften Muskelfasern gewonnen. Namentlich die Muskeln der Kaltblüter eignen sich zu Versuchen, weil sie auch isoliert noch lange ihre Lebenseigenschaften bewahren.

Während die glatten Muskelfasern die Form und den Wert einzelner Zellen bewahren, sind die langen quergestreiften Fasern, wie schon erwähnt, durch Teilung von Zellen entstanden. Zuweilen, z. B. an den Muskeln des Herzens, bleiben die Zellgrenzen sichtbar. Bei der Mehrzahl der quergestreiften Muskelfasern aber verschmelzen die der Länge nach aneinander gereihten Fasern derartig, dass eine scheinbar einer Zelle gleichwertige Faser entsteht; nur die in regelmäßigen Abständen gelegenen Kerne, umgeben von Resten des nicht vollkommen in kontraktile Muskelsubstanz umgewandelten Protoplasmas deuten die Entstehung durch Zellteilung an. Solche Fasern können eine Länge von mehreren Centimetern erlangen. Mehrere solche Fasern mit zugespitzten Enden können so miteinander verkittet sein, dass sie zusammen Fasern von noch viel größerer Länge bilden.

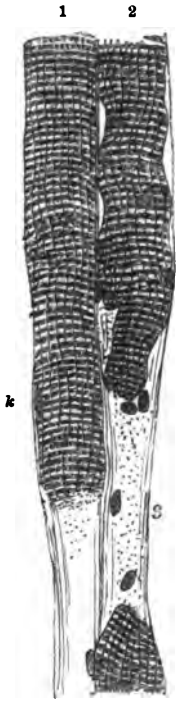


Fig. 108.

Zwei quergestreifte Muskelfasern. An der Faser 1 sieht man das Faserende und die sich an dasselbe ansetzende Sehne; bei *k* ist ein Kern sichtbar. Faser 2 ist zerquetscht; man sieht bei *s* den leeren Sarkolemmaschlauch, in welchem Kerne liegen.

Jede Muskelfaser ist bei Wirbeltieren von einer sehr festen, strukturlosen Hülle, dem Sarkolemma oder Muskelfaserschlauch, umhüllt, an dessen Enden sich Bindegewebsfasern, untermischt mit vielen elastischen Fasern, ansetzen. Sie bilden die Sehnen, durch welche die Muskeln mit anderen Gebilden, insbesondere den Knochen, zusammenhängen. Die vom Sarkolemma umschlossene kontraktile Substanz, ist senkrecht zur Längsrichtung der Faser abwechselnd hell und dunkel gestreift. Daher der Name quergestreifte Muskelfasern. Fig. 108 giebt ein Bild solcher Fasern, wie es bei mittelstarken Vergrößerungen erscheint.

Untersucht man die Muskelfasern in polarisiertem Licht, so zeigt sich, dass das, was in gewöhnlichem Licht als heller Querstreifen erscheint, einfach brechend, das, was als dunkler Querstreifen erscheint, doppelbrechend ist. Stärkere Vergrößerung zeigt ferner, dass jeder dunkle Streifen aus zwei, durch einfach brechende Substanz voneinander getrennten Bändern besteht, und dass in der einfach brechenden Schicht noch ein feiner dunkler Streifen vorhanden ist; vgl. Fig. 109, (S. 478).

Durch Einwirkung verschiedener Reagentien lässt sich der Inhalt der Muskelfaser der Länge nach in sehr feine Fäserchen, Fibrillen, zerlegen. Manche Muskelfasern, z. B. die der Insekten, zerfallen auch

von selbst leicht in Fibrillen. An jeder Fibrille ist noch die regelmäßige Anordnung der hellen und dunklen Streifen wie an der ganzen Muskelfaser zu erkennen. Schwieriger ist die Zerspaltung der Muskelfaser der Quere nach. Wo dies aber gelingt, da geht die Trennung immer an den zarten, die helle Substanz in zwei Hälften trennenden Linien vor sich (vgl. Fig. 109). Wir können also als Ergebnis aller dieser Untersuchungen die Ansicht aussprechen, dass die ganze Muskelfaser aus einer sehr großen Zahl jener kleinen prismatischen Teilchen besteht, welche in der Flächenansicht der Fig. 109 als rechteckige Felderchen sichtbar sind. Durch die Aneinanderreihung dieser Teilchen der Länge nach entstehen die Fibrillen, deren Bau durch die schematische Figur 110 veranschaulicht wird, durch die Nebeneinanderlagerung der Fibrillen die Muskelfaser.

Fig. 109.

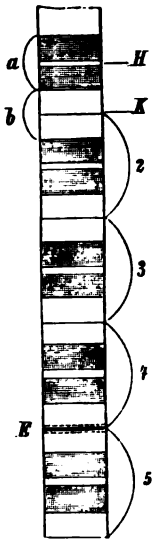


Fig. 110.

Fig. 109. Stück einer künstlich gefärbten Muskelfaser bei starker Vergrößerung (1000 : 1). Der dunkle Querstreifen ist in zwei Bänder getrennt; in der einfach brechenden hellen Substanz sieht man noch einen zarten, doppelbrechenden dunklen Streifen. Außerdem erscheint die Faser noch der Länge nach gestreift, so dass sie aus einer großen Zahl regelmäßig angeordneter, prismatischer Teilchen zusammengesetzt erscheint.

Fig. 110.

Schema einer Muskelfibrille. *a* die doppelbrechende, *b* die einfachbrechende Substanz. *H* die Mittelscheibe, welche den dunklen Querstreifen in zwei getrennte Bänder teilt, *K* die Querlinie, welche die Elementarteilchen der Fibrille trennt. Die Zahlen geben die einzelnen Elementarteilchen an. Bei *E* ist noch ein von ENGELMANN angegebener Belag der Querlinien *K* angedeutet.

Ist diese Anschauung richtig, dann enthält jedes der kleinen prismatischen Teilchen, welche zwischen je zweien der feinen, die helle Substanz halbierenden dunklen Streifen liegen, schon alle Elemente der ganzen Muskelfaser, und die Faser als Ganzes kann als aus einer regelmäßigen Anordnung aller dieser kleinen Teilchen bestehend angesehen werden. Bei der Kontraktion wird jedes dieser Teilchen kürzer und zugleich dicker; die Summe dieser Formveränderung macht das aus, was wir als Formveränderung der ganzen Faser und da, wo viele Fasern zu einem Muskel vereinigt sind, als Formveränderung des ganzen Muskels wahrnehmen.[1])

[1]) Die glatten Muskelfasern erscheinen in polarisiertem Licht homogen doppelbrechend. Während in den quergestreiften Fasern die einfachbrechende und die doppelbrechende Substanz in der beschriebenen Weise regelmäßig angeordnet sind, scheint bei den glatten Muskelfasern die doppelbrechende mehr gleichmäßig in der einfach brechenden verteilt zu sein. Die quergestreiften Muskeln stellen also einen höheren Grad von Differenzierung der kontraktilen Substanz dar.

Die Muskeln eines lebenden Tieres verkürzen sich unter dem Einfluss des Nervensystems, an ausgeschnittenen Muskeln kann man die Verkürzung durch Reize hervorrufen. Befestigt man das eine Ende eines Muskels unverrückbar und verbindet man das andere Ende mit einem Hebel, der ähnlich wie im Tierkörper die Knochen bei der Verkürzung des Muskels in Bewegung versetzt wird, so kann man den Vorgang der Verkürzung und den Einfluss verschiedener Umstände auf dieselbe sehr gut untersuchen.

Belastet man den Muskel mit Gewichten, so werden diese bei der Verkürzung gehoben. Der Muskel ist also imstande, durch seine Verkürzung Arbeit zu leisten. Wir bezeichnen deshalb den Zustand der Verkürzung als Thätigkeit des Muskels und unterscheiden davon den unverkürzten Zustand als den der Ruhe. Ein aus dem Körper des Tieres entfernter Muskel geht infolge eines auf ihn wirkenden Reizes aus dem Zustande der Ruhe in den der Thätigkeit über und verfällt wieder in Ruhe, wenn der Reiz nicht mehr auf den Muskel wirkt. Als wirksamster Reiz erweist sich ein kurzdauernder elektrischer Stromstoß, wie man ihn leicht durch Induktion erhalten kann. Die durch solchen Reiz bewirkte Verkürzung des Muskels, welche nur sehr kurze Zeit dauert, wird Zuckung genannt. Wiederholen sich die Reize mit einer gewissen, nicht zu geringen Geschwindigkeit, so bleibt der Muskel während der Dauer der Reizung in gleichmäßiger Verkürzung. Diese Form der Thätigkeit wird als Tetanus bezeichnet.

Je nach der Länge der Fasern, der Dicke des Muskels und der Größe des Gewichts fällt die bei einer Zuckung auftretende Leistung verschieden aus.[1]) Bei einem jeden Muskel aber wird die Hubhöhe bei zunehmendem Gewicht immer kleiner und zuletzt bei einer bestimmten Belastung gleich Null. Das Produkt aus der Hubhöhe mal der Belastung ist die von dem Muskel bei der Verkürzung geleistete Arbeit. Diese muss einer im Muskel verbrauchten Energie äquivalent sein. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass es chemische Umsetzungen innerhalb des Muskels sind, aus denen die kinetische Energie hervorgeht. Ausgeschnittene Muskeln werden bei der Thätigkeit chemisch verändert. Noch deutlicher zeigt sich der Zusammenhang zwischen Muskelarbeit und chemischen Umsetzungen bei vergleichenden Stoffwechseluntersuchungen an Menschen und Tieren während der Ruhe und bei größeren Muskelanstren-

[1]) Die Dicke des Muskels hängt von der Zahl der in ihm vereinigten Fasern ab, denn die Dicke der Fasern pflegt nur innerhalb gewisser Grenzen zu schwanken. Auf die Leistung hat auch die Stärke des Reizes Einfluss. Bei einer gewissen Reizstärke erreicht die Leistung ein Maximum, über welches sie nicht hinausgehen kann. Wir setzen bei den folgenden Erörterungen voraus, dass die Reizung eine maximale sei. Über Reize vgl. das folg. Kapitel.

gungen. Namentlich die Ausgabe von Kohlendioxyd wird durch Muskelarbeit erheblich gesteigert. Die Arbeitsleistung des Muskels ist also wie die einer Dampfmaschine die Folge der Umwandlung potentieller Energie chemischer Verwandtschaft in kinetische Energie. Wie bei der Dampfmaschine wird auch im Muskel zugleich mit der mechanischen Arbeit Wärme produziert. Thätige Muskeln erwärmen sich. Es ist sehr wahrscheinlich, dass beide Arten von kinetischer Energie nebeneinander entstehen, während bei der Dampfmaschine zunächst nur Wärme entsteht, von der ein Teil nachträglich in mechanische Arbeit umgewandelt wird (vgl. Kap. 17 § 6).

8. Ermüdung und Erholung.

8. Wenn Bestandteile des Muskels durch Oxydation die Quelle der Muskelarbeit liefern, so muss durch die Arbeit ein Verlust an diesen Bestandteilen entstehen. Innerhalb des lebenden Organismus kann dieser Verlust durch Zufuhr von außen, bei den höheren Tieren durch Vermittelung des Blutes, ersetzt werden. Aber lange ehe der Vorrat an solchen Stoffen im Muskel erschöpft ist, macht sich im Muskel, mag er ausgeschnitten oder noch im normalen Verband des Organismus sein, ein Umstand geltend, welcher die Fähigkeit des Muskels zur Arbeitsleistung behindert. Es ist nachgewiesen worden, dass diese Behinderung von der Ansammlung der Zersetzungsprodukte, welche bei der Zusammenziehung entstehen, herrührt. Die chemischen Umsetzungen, aus denen die Energie der Arbeitsleistung stammt, wirken störend auf die weitere Thätigkeit ein, lange ehe alle im Muskel vorhandenen Stoffe, durch deren Umsetzung die mechanische Energie frei wird, verbraucht sind.

Reizt man einen ausgeschnittenen Muskel mit andauernden oder wiederholt in kurzen Pausen mit einzelnen Reizen, so zeigt sich diese Behinderung darin, dass die Kontraktionen allmählich kleiner werden. Man nennt diese Erscheinung Ermüdung. Sie zeigt sich auch an Muskeln des unversehrten Organismus, gleichgiltig ob diese durch den Einfluss des Nervensystems oder durch künstlich zugeführte Reize zur Kontraktion veranlasst werden. In diesem Falle werden aber die ermüdenden Stoffe, wie man jene Umsetzungsprodukte kurz nennt, durch das Blut fortgespült; der Muskel kann sich schnell erholen. Bei ausgeschnittenen Muskeln kann eine Verdünnung der im Innern der Muskelfasern entstandenen Ermüdungsstoffe durch Diffusion derselben in das die Fasern umhüllende Bindegewebe stattfinden; es tritt daher auch bei ihnen Erholung ein, wenngleich in geringerem Grade und bei wiederholten Reizungen in immer unvollkommenerer Weise. Zuletzt aber bleibt sie ganz aus. Man sagt dann, der Muskel sei erschöpft. Untersucht man solche Muskeln chemisch, so zeigen sich

bestimmte Abweichungen von der Zusammensetzung frischer, nicht ermüdeter Muskeln. Die Menge der in Wasser löslichen Bestandteile hat zugenommen. Es müssen also aus einigen, in Wasser nicht löslichen Stoffen durch chemische Umwandlung andere, in Wasser lösliche geworden sein. Ein Teil dieser Umwandlungen beruht sicher auf Oxydationsvorgängen. Dabei tritt noch eine bemerkenswerte Veränderung auf. Frische lebende Muskeln reagieren neutral oder schwach alkalisch; Muskeln, welche stark gearbeitet haben, reagieren sauer. Die Säure, welche dabei auftritt, ist Fleischmilchsäure (vgl. Kap. 9 § 10), einer der wirksamsten „Ermüdungsstoffe". Sie entsteht wahrscheinlich durch Spaltung eines der Proteinstoffe, welche in der Muskelsubstanz vorhanden sind, und wirkt ihrerseits auf das Myosinogen ein, indem sie aus ihm Myosin abscheidet (vgl. Kap. 10 § 16). Ein Teil der Fleischmilchsäure wird wahrscheinlich weiter zu CO_2 und H_2O oxydiert, ein anderer Teil aber verbindet sich mit den vorhandenen Basen zu fleischmilchsauren Salzen oder bleibt auch, falls die Basen zu voller Neutralisierung nicht ausreichen, im freien Zustande.

In den vom Blut durchströmten Muskeln lebender Tiere fehlt es niemals an basischen Stoffen, namentlich an Natron, von welchen das Blut stets einen Überschuss enthält. Die entstehenden Natriumsalze werden vom Blut fortgespült und gelangen zum Teil in den Harn. Der Harn arbeitender Menschen enthält oft nachweisbare Mengen von Milchsäure, der Harn ruhender in der Regel nicht. Wenn im lebenden Körper die Muskeln ermüden, so muss dies wohl daher kommen, dass die Milchsäure und die anderen Ermüdungsstoffe nicht schnell genug entfernt werden können und sich daher, wenn auch langsamer als in isolierten Muskeln ansammeln. Dann kann erst nach längerer Ruhe vollständige Erholung eintreten.

Ähnliche chemische Umwandlungen wie bei der Thätigkeit gehen auch im ruhenden Muskel vor sich, freilich in viel geringerem Maße. Wenn man ausgeschnittene frische Muskeln liegen lässt, werden sie, allerdings erst nach längerer Zeit, auch sauer; man findet in ihnen freie Fleischmilchsäure und milchsaure Salze. Die Umwandlung geht um so schneller vor sich, je höher die Temperatur der Muskeln ist; erwärmt man diese auf 45°, so erfolgt die Umwandlung binnen wenigen Minuten. Bei den Muskeln der Warmblüter geht sie, auch wenn man sie in niedriger Temperatur hält, schneller vor sich als bei den Muskeln kaltblütiger Tiere. Dieselben Vorgänge treten in den nicht aus dem natürlichen Verband des Organismus losgelösten Muskeln nach dem Tode des Tieres ein, sobald der Kreislauf aufgehört hat.

Gleichzeitig mit dem Sauerwerden tritt in dem Muskel eine sichtbare Veränderung ein; er wird teigig, weniger durchsichtig und verkürzt

sich ein wenig. Wenn das an allen Muskeln eintritt, so werden die Gliedmaßen steif. Man nennt deshalb diesen Zustand Toten- oder Leichenstarre. Die Ursache dieser Veränderungen ist der Übergang des gelösten Myosinogens in das unlösliche Myosin (s. Kap. 10 § 16).

Ob die chemischen Vorgänge in der Ruhe und in der Thätigkeit ganz identisch sind und sich nur dem Grade nach unterscheiden, können wir nicht feststellen. Jedenfalls vollziehen sich auch im ruhenden Muskel ähnliche Umsetzungen, welche zum Teil mit einer Oxydation der Muskelsubstanz verbunden sind; auch der ruhende Muskel produziert, wie alle lebenden Gewebe, fortwährend Wärme. Bei der Thätigkeit werden aber nicht nur die chemischen Prozesse erheblich gesteigert, so dass die Wärmeproduktion viel größer wird, sondern es geht auch ein erheblicher Anteil der durch jene oxydativen Prozesse frei werdenden kinetischen Energie unmittelbar in mechanische Arbeit über.

Selbstverständlich ist mit dieser vermehrten Oxydation ein vermehrter Verbrauch der in dem Muskel aufgestapelten Stoffe verbunden. Soll die Leistungsfähigkeit der Muskeln erhalten bleiben, so muss dafür Ersatz geschafft werden, was nur durch Zufuhr von seiten des Blutes geschehen kann, welches seinerseits die dazu erforderlichen Stoffe aus der Nahrung bezieht. Es ist nun für die rationelle Ernährung arbeitender Menschen und Lasttiere von großer Bedeutung, dass nach schwerer Muskelarbeit die Ausscheidung stickstoffhaltiger Stoffe nur ganz unerheblich, dagegen die Ausscheidung von Kohlendioxyd sehr erheblich steigt. Es ist festgestellt worden, dass die durchschnittlich von einem erwachsenen Manne in vierundzwanzig Stunden hauptsächlich in Gestalt von Kohlendioxyd ausgeschiedene Kohlenstoffmenge sich auf 250 g beläuft, dagegen bei schwerer Muskelarbeit bis 350 g steigt. Die Muskelarbeit wird also, wenn nicht ganz, so doch zum allergrößten Teil durch Oxydation stickstofffreier Stoffe geleistet. Freilich werden auch die stickstoffhaltigen Bestandteile des Muskels bei seiner Thätigkeit nicht unverändert bleiben; es ist aber die Vermutung gerechtfertigt, dass die Veränderung nur bis zu solchen Stoffen fortschreitet, welche entweder im Muskel selbst oder an anderen Stellen des Organismus wieder in die ursprünglichen Stoffe zurückgebildet werden können. Doch ist über diese Vorgänge noch zu wenig bekannt, um weitere Angaben zu gestatten.

Die Ausgabe mechanischer Energie in Gestalt von äußerer Arbeit, wie sie durch die Ortsbewegung der Tiere oder Hebung von Lasten erfolgt, muss in Rechnung gezogen werden, wenn man die gesamte, innerhalb eines Organismus frei werdende kinetische Energie

mit der in der gleichen Zeit durch die chemischen Umsetzungen erzeugten vergleichen will. Näheres hierüber s. Kap. 17, § 6.

9. Elektrische Strömung.

9. Die Erzeugung elektrischer Strömung ist in den tierischen und pflanzlichen Geweben sehr verbreitet, doch tritt nur ein sehr kleiner Teil der in ihnen umgesetzten Energie in dieser Form auf. Nur in den elektrischen Organen einiger Fische erreichen die elektrischen Ströme eine größere Stärke. Von den verschiedenen Energieformen, durch welche elektrische Strömung veranlasst wird, kann in lebenden Geweben nur die durch chemische Verwandtschaft bedingte in Betracht kommen. Da die stark wirksamen Kombinationen von Metallen und Flüssigkeiten fehlen, können immer nur schwache elektromotorische Kräfte auftreten. Nur da, wo viele derartige Kräfte in gleicher Richtung wirken und sich deshalb, wie in den Elementen einer galvanischen Batterie, zueinander addieren, kann die Wirkung eine erhebliche sein. Dieser Fall scheint bei den elektrischen Organen vorzuliegen. In geringerem Grade elektrisch wirksam sind Muskeln, Nerven und Drüsen. Wahrscheinlich haben bei diesen Geweben die elektrisch wirksamen Teilchen eine bestimmte regelmäßige Lagerung.

Zum Nachweis schwacher elektrischer Strömungen dienen die Galvanometer, welchen man eine sehr große Empfindlichkeit geben kann. Für manche Untersuchungen, besonders wenn es sich um den Nachweis schneller Veränderungen der elektromotorischen Kräfte handelt, sind auch Quecksilberkapillarelektrometer geeignet. Da die chemisch differenten Teilchen der Gewebe, von denen die elektrischen Wirkungen ausgehen, im Innern der Gewebe liegen und allseits von leitenden Flüssigkeiten umspült sind, so geht durch die zum Nachweis der Ströme angelegten Instrumente (den ableitenden Bogen) immer nur ein Teil der Ströme, und auch nur dann, wenn dieser Bogen an zwei Punkten angelegt wird, welche verschiedene elektrische Spannung haben. Man kann daher annehmen, dass die in den Geweben selbst zirkulierenden Ströme stärker sind als die meist nur sehr schwachen durch die Instrumente nachweisbaren Wirkungen.

Bei der großen Mannigfaltigkeit chemisch differenter Stoffe in den Geweben kann die Gelegenheit zum Entstehen elektrischer Strömungen überall vorhanden sein. Von der Anordnung der Teilchen muss es abhängen, ob auch durch die an die Außenfläche angelegten leitenden Apparate ein messbarer Stromanteil fließt. Man darf daher da, wo dies der Fall ist, darauf schließen, dass auch im Innern Ströme vorhanden sind; dagegen ist der umgekehrte Schluss, dass überall, wo in angelegten leitenden Bögen keine Strömungen nachweisbar sind, auch im Innern keine elektromotorischen Kräfte vorhanden seien, nicht bindend. Immerhin wird man das Vorhandensein solcher Kräfte nur dann annehmen, wenn triftige Gründe dafür sprechen.

In der Deutung der experimentell gefundenen Thatsachen stehen zwei Auffassungen schroff einander gegenüber. E. DU BOIS-REYMOND, welcher die an Muskeln und Nerven zu beobachtenden Thatsachen sehr sorgfältig und genau untersucht hat, nahm an, dass innerhalb dieser Gewebe regelmäßig angeordnete, elektrisch wirksame Teilchen vorhanden seien. Dagegen ist die Mehrzahl der heutigen Physiologen der Ansicht, dass die elektrischen Gegensätze erst infolge örtlicher Verletzung oder beim Absterben entstehen. Sie stützen sich dabei auf die unleugbare Thatsache, dass an unversehrten Muskeln und Nerven in der Ruhe elektrische Wirkungen in der Regel nicht nachweisbar sind. Da solche bei der Thätigkeit auftreten, so kann man entweder annehmen, dass sie von einer Änderung in der Anordnung der schon vorgebildeten elektrisch wirksamen Teilchen herrühren oder aber von einer Änderung im Chemismus der Teilchen, wodurch diese erst elektrisch wirksam werden.

Es ist hier nicht der Ort, das Für und Wider zwischen diesen beiden Ansichten abzuwägen. Beide sind nichts weiter als bildliche Darstellungen der Erscheinungen, Gleichnisse, durch welche die Thatsachen einigermaßen der Anschauung zugänglich werden. Wichtig ist nur, dass bei Muskeln, Nerven und Drüsen mit der physiologischen Thätigkeit ganz bestimmte Änderungen des elektrischen Verhaltens auftreten. Wenn schon in der Ruhe Ströme nachweisbar sind, dann tritt eine Abschwächung derselben auf, daher der von DU BOIS-REYMOND eingeführte Name „negative Schwankung des Ruhestroms". Muskeln, Nerven und Drüsen zeigen in ihrem physiologischen Verhalten sehr viel Übereinstimmendes, worauf wir im folgenden Kapitel noch zu sprechen kommen werden. Es ist daher gewiss bemerkenswert, dass gerade an ihnen die elektrischen Wirkungen in so gesetzmäßiger Weise auftreten. Als besonders wichtig aber ist hervorzuheben, dass die elektrischen Organe, welche bei ihrer Thätigkeit die stärksten elektrischen Wirkungen von allen tierischen und pflanzlichen Geweben hervorbringen, wie die Entwickelungsgeschichte und die vergleichende Anatomie lehrt, modifizierte Muskeln sind.

An Pflanzen treten gleichfalls schwache elektrische Spannungsdifferenzen auf. Eine junge Keimpflanze z. B. von der Form, welche in Fig. 93 (S. 388) unter C abgebildet ist, zeigt bei h die größte positive Spannung; daher entstehen in einem angelegten Bogen Ströme, welche von h ausgehen, wenn man diese Stelle mit einem oberhalb oder unterhalb derselben gelegenen Punkt verbindet. Stärkere elektrische Strömungen erhält man an reizbaren Pflanzen. Von diesen wird gleichfalls im folgenden Kapitel die Rede sein.

10. Erzeugung von Licht.

10. Die Erzeugung für unser Auge sichtbaren Lichtes, das Leuchten, kommt allerlei pflanzlichen und tierischen Organismen

oder einzelnen Organen derselben zu, so z. B. allerlei Bakterien, welche das Leuchten faulenden Holzes, Fleisches u. s. w. bewirken, wie *Bacterium phosphorescens*, auf Seefischen vorkommend, *Vibrio phosphorescens*, im Elbwasser bei Hamburg und in den Darmentleerungen von Menschen in Hamburg gefunden, u. a.[1]) Von höheren Pilzen leuchten: *Agaricus melleus*, ein auf Bäumen schmarotzender Hutpilz, *Agaricus olearius*, welcher in Südeuropa unter Ölbäumen wächst u. a. Von Tieren, welche Licht aussenden, nenne ich zuerst die zu den Protozoen (II. Klasse, Flagellaten) gehörige *Noctiluca miliaris*. Die etwa 1 mm großen, kugeligen, mit einer zarten Geißel sich bewegenden Tierchen kommen in manchen Nächten in solchen Mengen an die Oberfläche, dass bei jeder Erschütterung des Wassers durch Anschlagen der Brandung ans Ufer, durch Wellenschlag u. s. w. das Wasser selbst zu leuchten scheint, was in dunklen Nächten an der Nordsee ein entzückendes Schauspiel gewährt. Ausserdem tragen zum Leuchten des Meeres noch bei manche Radiolarien und Pyrosomen oder Seewalzen. Unter den Landtieren besitzen Leuchtorgane mehrere Insekten, so das bekannte Leuchtwürmchen (*Lampyris noctiluca*) und zahlreiche, ihm verwandte Käfer Süd- und Centralamerikas aus der Gattung *Pyrophorus*, von Meerestieren noch viele, zum Teil in großen Meerestiefen lebende Krebse, ferner auch mehrere, gleichfalls zu den Tiefseebewohnern gehörige Fische. Neuerdings hat Chun bei seiner vom deutschen Reich ausgerüsteten Tiefseeexpedition mehrere neue, bisher unbekannte Leuchtfische aufgefunden. Über die bei letzteren vorkommenden, vorn am Kopfe zwischen den Nasenöffnungen an langen, beweglichen Stielen sitzenden „Laternen" fehlt es noch an genaueren Mitteilungen. Dagegen hat Chun die Leuchtorgane der Tiefseekruster, über deren Funktion kein Zweifel besteht, da das Leuchten derselben beobachtet worden ist, genau untersucht und beschrieben.[2])

---

[1]) Die auf leuchtendem Fleisch vorkommenden Bakterien scheinen keine spezifische Giftwirkung zu besitzen.

[2]) Mit den eigentlichen Leuchtorganen dürfen nicht verwechselt werden die nicht selbst Licht aussendenden, sondern nur eingefallenes Licht stark reflektierenden Organe. Dahin gehören besonders die mit einem sogenannten Tapetum, einer gefäßlosen, zwischen Netzhaut und Aderhaut gelegenen, stark lichtreflektierenden Schicht, ausgerüsteten Augen. Ein Tapetum besitzen die Augen von Fischen, Raubtieren, Wiederkäuern u. a. Solche Augen reflektieren einen erheblichen Teil des einfallenden Lichtes, während bei allen anderen Augen die hinter der Netzhaut gelegene Pigmentschicht fast alles Licht absorbiert, so dass nur sehr wenig reflektiert wird. Bekannt ist das „Augenleuchten" bei Hunden und Katzen; es kann aber unter günstigen Verhältnissen bei allen Augen gesehen werden. Auf der Benutzung dieser geringen zurückgeworfenen Lichtmenge beruht der von Helmholtz erfundene Augenspiegel, durch welchen der Augenhintergrund am Lebenden sichtbar gemacht wird. Durch starke Reflexion des einfallenden Lichtes kommt auch das „Leuchten"

Die Leuchtkrebse oder Euphausien (eine Ordnung der Schizopoden) kommen als Bewohner des Meeres, als Bestandteile des sogenannten Planktons vor. Einige Gattungen werden nur in den oberflächlichen Schichten angetroffen, andere leben in Tiefen, bis zu denen niemals ein Lichtstrahl dringt, weil alles Licht schon in den darüber liegenden Wasserschichten vollständig absorbiert wird. Das letztere gilt ebenso für die eben erwähnten Tiefseefische. Da die Tiere aber gut ausgebildete Augen haben, also sehen können, so müssen sie zur Verfolgung ihrer Beute ihr Jagdrevier selbst beleuchten. Dazu dienen ihnen die „Leuchtorgane". Diese sitzen zum Teil in der Nachbarschaft der Augen selbst, mit diesen gleichsam zu einem Organ vereinigt, zum Teil zwischen den Fußpaaren am Thorax oder Abdomen. Hinter dem lichtaussendenden Apparat befindet sich ein kugeliger oder parabolisch gekrümmter Reflektor, welcher das Licht nach vorn reflektiert. Die am Thorax und Abdomen sitzenden Leuchtorgane sind noch durch eine, vor dem Leuchtapparat gelegene Linse ausgezeichnet, so dass sie wie Blendlaternen das von ihnen ausgehende Licht in einer bestimmten Richtung konzentrieren. Während die mit den Augen verbundenen Leuchtorgane mit jenen nach verschiedenen Richtungen gewendet werden können, sind die thorakalen und abdominalen Leuchtorgane durch eigene Muskeln beweglich, die abdominalen in der Medianebene, die anderen in Ebenen, welche unter 45—90° gegen die Medianebene gestellt sind. So kommt es, dass Objekte beleuchtet werden können, welche unter, hinter und seitwärts, sowie bis zu einem bestimmten Bereich vor dem Tiere sich befinden, besonders auch die von den Scherenfüßen gepackte Beute.

Wir geben in Fig. 111 die Abbildung eines thorakalen Leuchtorganes von *Nematoscelis rostrata* nach Chun. *n* ist der in den Leuchtkörper eintretende Nerv, *rfl* der Reflektor. Der Leuchtkörper besteht aus gegeneinander geneigten Lamellen, welche von den Zellen *c* abgeschieden werden, *l* die (an den Leuchtorganen der Augen fehlende) Linse.

Das Leuchten steht unter dem Einfluss des Nervensystems, doch ist über die Art seines Zustandekommens wenig bekannt. Bei Lampyris hat man gefunden, dass dazu die Gegenwart freien Sauerstoffes notwendig ist. Nach einigen Angaben soll der leuchtende Stoff von den Zellen ausgeschieden werden und auch noch außerhalb derselben einige Zeit leuchten können.

---

des Leuchtmooses, *Schistostega osmundacea*, zu stande. Chlorophyllkörner, welche an der hinteren, konisch geformten Wand von Zellen liegen, reflektieren das auf sie gefallene Licht, während der vor denselben gelegene Teil wie eine Linse wirkt, indem er das einfallende, wie das reflektierte Licht stark konzentriert.

Feste Körper senden Licht aus, wenn ihre Temperatur sehr hoch ist. Die Wellenlängen des ausgestrahlten Lichtes ändern sich mit der Temperatur. Erhitzt man einen Platindraht allmählich immer höher, so ist das erste wahrnehmbare Licht von gleicher Wellenlänge wie das grüne Licht des Sonnenspektrums. Für diese Art von Schwingung ist unser Auge am empfindlichsten. Bei steigender Temperatur kommen dann nach und nach auch die weniger und die stärker brechbaren Strahlen hinzu;

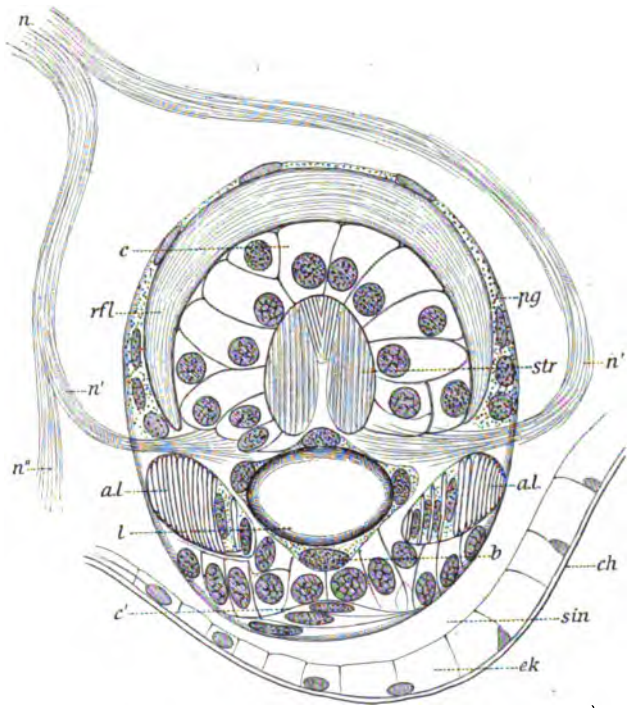


Fig. 111.

Längsschnitt durch ein thorakales Leuchtorgan von Nematoscelis rostrata, einem Tiefseekrebs, nach CHUN. *n'* **der Leuchtnerv;** *str* **Leuchtapparat;** *rfl* **der Reflektor;** *pg* **rotes Pigment;** *a.l.* **aus Lamellen gebildeter reflektierender Ring;** *l* **dem Leuchtapparat vorgelagerte Linse;** *b, c, c'* **Zellen, welche den Leuchtkörper und die Linse abscheiden;** *ek, ch* **die das Organ bekleidende Chitinwand;** *sin* **ein Blutsinus, welcher die Ernährung des Organs besorgt.**

die Körper erscheinen dann rot, schließlich, bei voller Weißglut, wenn auch violette und ultraviolette Strahlen auftreten, weiß. Daneben treten aber auch die durch unser Auge nicht wahrnehmbaren Strahlen auf, welche weniger brechbar sind als Rot, aber sehr stark erwärmend wirken. So hohe Temperaturen kommen natürlich bei der in lebenden Organen stattfindenden Oxydation niemals vor. Dass aber auch bei niedrigeren Temperaturen Leuchten stattfinden kann, sehen wir am Phosphor, dessen Dämpfe sich bei mäßigen Temperaturen mit Sauer-

stoff verbinden und dabei sichtbares Licht aussenden. Im Sonnenspektrum erscheint uns die Gegend des gelben Lichtes am hellsten, weil bei diesem das Resultat aus der Energie der Ätherschwingungen und der Empfindlichkeit unserer Sehnerven ein Maximum ist. Sendet aber eine Lichtquelle vorwiegend Strahlen großer Brechbarkeit aus, so kann sie durch das Auge wahrgenommen werden, ohne dass ihre Temperatur eine sehr hohe zu sein braucht. Man nennt diese Erscheinung Phosphorescenz und sagt daher auch, dass die Licht erzeugenden Lebewesen oder Organe phosphorescieren.

Das Leuchten eines sehr heißen Körpers ist eine sekundäre Erscheinung. Durch die Erwärmung geraten zunächst nur die materiellen Molekeln in stärkere Schwingungen; ihre Energie wird zum Teil auf den Äther übertragen und pflanzt sich in Form der Strahlung nach außen fort. Die Schwingungen von geringster Frequenz können durch die Augen nicht wahrgenommen werden, sondern werden nur als strahlende Wärme empfunden, diejenigen höherer Frequenz erscheinen uns als Licht. Ob die Erwärmung, wie es beim Platindraht in der Regel geschieht, durch elektrische Ströme bewirkt wird, oder ob sie, wie bei der Verbrennung, durch Umwandlung der potentiellen Energie chemischer Verwandtschaft in molekulare Bewegung veranlasst wird, ist für das mit der Erwärmung verbundene Leuchten unerheblich. Wenn aber die potentielle Energie der chemischen Verwandtschaft, ohne den Umweg über die materiellen Molekeln zu machen, unmittelbar in Ätherschwingungen von hoher Schwingungszahl umgesetzt wird, dann können die Körper schon bei ganz niedriger Temperatur Licht aussenden. So müssen wir uns offenbar den Vorgang denken, welcher unter dem Einfluss der Nerven in den Leuchtorganen stattfindet. Er ist analog der Umformung der Energie in mechanische Arbeit in den Muskeln und in elektrische Strömung in den elektrisch wirksamen Organen.

Neunzehntes Kapitel.

Reizung und Reizbarkeit.

1. Den ersten Anlass, die in Kap. 12 besprochenen Amoeben für lebende Wesen zu halten, fanden wir in den an ihnen beobachteten Bewegungen. Wir sind daran gewöhnt, leblose Gegenstände in Ruhe verharren zu sehen, wenn sie nicht durch nachweisbare äußere Einwirkungen in Bewegung gesetzt werden. Dagegen wissen wir aus Erfahrungen unseres Bewusstseins, dass wir aus „inneren Ursachen“ Bewegungen hervorzubringen vermögen. So gelangen wir leicht zu der Vorstellung, dass überall, wo Bewegungen ohne gleich zu erkennende äußere Veranlassung auftreten, Leben vorhanden sein müsse. 1. Begriff der Reizbarkeit.

Natürlich fehlt es dabei an Täuschungen nicht. Dadurch misstrauisch gemacht, lassen wir uns nicht gleich durch den ersten Eindruck zu einem abschließenden Urteil bestimmen und finden denn auch häufig genug, dass so manche Bewegung, welche wir für eine Lebenserscheinung zu halten geneigt waren, auf andere Art zu stande kommt. Wo aber Erfahrung und Fähigkeit zu sorgfältiger Erwägung aller Umstände nicht ausreichen, ist Irrtum häufig genug. Kinder und ungenügend unterrichtete Erwachsene sehen leicht in allem Bewegten etwas Lebendiges. Ähnlich scheint es Tieren zu gehen. Wer Gelegenheit gehabt hat, zu beobachten, wie ein Hund einem Stein nachsetzt, der einen Bergabhang hinunterkollert, wie er ihn mit lautem Gebell verfolgt, ihn, wenn er schließlich zur Ruhe gekommen ist, verdutzt ansieht und offenbar nicht recht weiß, was er aus der Sache machen soll, wird gewiss den Eindruck erhalten, dass er den Stein für ein lebendes Wesen gehalten habe.

Wie vorsichtig man bei der Beurteilung von Bewegungen sein muss, deren Ursprung man nicht sogleich übersieht, haben wir an dem Beispiel der Brown'schen Bewegung (Kap. 18, § 4) erfahren. Dort haben wir auch gesehen, dass die beste Sicherung gegen derartige Täuschungen darin besteht, den Einfluss von Reizen zu untersuchen. Echte organische Bewegung wird durch Reize hervorgerufen oder, wenn sie schon verhanden ist, in ihrem Ablauf

wesentlich verändert. Man spricht aber auch von Leben und von Reizbarkeit bei Wesen, an denen für gewöhnlich keine selbständige Bewegung wahrgenommen werden kann, z. B. bei Pflanzen. An ihnen muss sich also die Reizbarkeit in anderer Weise äußern. In der That hat sich zwar der physiologische Begriff der Reizung und Reizbarkeit vorzugsweise durch das Studium kontraktiler Gebilde entwickelt, er hat aber im Laufe der Zeit eine allgemeinere Bedeutung angenommen. Wenn wir versuchen, den Sinn, in welchem das Wort von Biologen gebraucht wird, zu definieren, so können wir etwa sagen: Reizbarkeit ist die Fähigkeit alles lebenden Protoplasmas, auf äußere Einwirkungen in spezifischer Weise mit Änderungen im Ablauf der Lebenserscheinungen zu reagieren.

Welcher Art die durch einen Reiz hervorgerufene Wirkung ist, das hängt nur in geringem Maße von der Art des Reizes, immer aber von den Eigenschaften des gereizten lebenden Gebildes ab. Ist das gereizte Protoplasma kontraktil, so erscheint als Erfolg eine Kontraktion und eine durch sie veranlasste Bewegung; wirkt der Reiz auf eine Drüse, so tritt Sekretion ein; unser Centralnervensystem reagiert auf Reize mit Vorgängen der Empfindung und des Bewusstseins. Neben diesen unzweifelhaften Reizerfolgen an Geweben von spezifischer Struktur werden aber als Wirkungen von Reizen noch allerlei Erscheinungen aufgefasst, welche auf andere Weise zu stande kommen, so dass eine befriedigende Darstellung der Reizwirkungen sehr erschwert wird.

2. Reizung und Auslösung.

2. Es empfiehlt sich, die Erscheinungen zunächst an jenen Gebilden zu studieren, an welchen sie in deutlicher und unzweifelhafter Weise hervortreten. Unter diesen sind die Muskeln die günstigsten, schon weil sie ohne Verlust ihrer physiologischen Eigenschaften leicht isoliert werden können. Muskeln von Kaltblütern, welche in möglichst unversehrtem Zustand aus dem lebenden Körper oder bald nach dem Tode des Tiers losgelöst werden, behalten noch lange ihre Lebenseigenschaften und eignen sich deshalb sehr gut zum Studium der Reizerscheinungen. Sie verharren, wenn sie nicht gereizt werden, im Zustande der Ruhe; unter der Einwirkung von Reizen gehen sie in den Zustand der Thätigkeit über, d. h. sie kontrahieren sich. Als Reize wirken mechanische Eingriffe wie Druck, Stich u. dgl.; chemische (Ammoniak in Gasform und in Lösung, Lösungen von Säuren und Salzen), thermische (Erwärmung oder Abkühlung auf bestimmte Temperaturen), endlich elektrische, namentlich die Einwirkung plötzlicher Stromschwankungen, wie sie durch Induktionsströme geboten werden.[1])

[1]) Im unversehrten Organismus der Metazoen werden die Muskeln durch

Die durch Muskelkontraktion geleistete Arbeit kann unter Umständen sehr groß sein (vgl. Kap. 18 § 7), so dass die dabei auftretende Energie die Energie des Reizes bedeutend übertrifft. Es ist also nicht die Energie des Reizes auf die gereizte Substanz übertragen und in dieser in eine andere Energieform umgewandelt worden, sondern der Reiz konnte nur den Anstoß dazu geben, dass in dem gereizten Körper schon vorhandene potentielle Energie in kinetische überging. Vorgänge solcher Art haben wir im Kap. 5 § 17 „Auslösungen" genannt. Wir sagen deshalb auch in unserem Fall, der Reiz wirke als Auslösung, indem er die potentielle Energie des Muskels „frei mache" und ihren Übergang in kinetische Energie (Wärme uud mechanische Arbeit) herbeiführe. Wir müssen uns vorstellen, dass die chemischen Stoffe, aus welchen die kontraktile Substanz besteht, sehr kompliziert gebaute Molekeln enthalten, deren Atome locker miteinander verbunden sind. Es bedarf deshalb nur eines geringen Anstoßes, damit sich einzelne Atome aus dem Verbande loslösen und zu festeren Verbindungen zusammenfügen. Da letztere eine geringere Verbrennungswärme haben als die ursprünglichen Atomkomplexe, so ist der Übergang mit Entwickelung kinetischer Energie verbunden (vgl. Kap. 18 § 7). Wir können das auch so ausdrücken, dass wir sagen, die Atome befinden sich innerhalb der Molekel in labilem Gleichgewicht, aus welchem sie bei der Kontraktion in ein stabiles übergehen[1]).

Da die Energieform, welche aus der potentiellen Energie des gereizten Gebildes hervorgehen kann, allein von dem Bau dieses Gebildes bedingt ist, so sieht man ein, warum dasselbe Gebilde, durch verschiedenartige Reize in Erregung versetzt, doch immer zu derselben Art von Thätigkeit veranlasst wird. Beim Muskel, dessen Thätigkeit in mechanischer Arbeitsleistung besteht und deshalb genauer Messung leicht zugänglich ist, fällt die Nichtübereinstimmung zwischen der Energie des Reizes und derjenigen der Leistung am ehesten ins Auge. Letztere kann die erstere

Einwirkung von den Nerven her zur Thätigkeit veranlasst. Zu den auf den Muskel wirkenden Reizen gehört also auch der Nerveneinfluss. Von ihm wird später die Rede sein.

[1]) Als Beispiel eines derartigen Vorgangs führe ich das Nitroglyzerin an, einen höchst explosiven Körper, welcher, durch Stoß, Schlag oder Erhitzen über 250° zur Explosion gebracht, sehr heftiger Wirkungen fähig ist. Nitroglyzerin ist ein dreifacher Salpetersäure-Ester des dreiwertigen Alkohols Glyzerin (s. Kap. 9 § 7) und hat die Formel $C_3H_5(ONO_2)_3$. Bei der Explosion geht er in Kohlendioxyd, Wasser, Stickoxydul und Stickstoff über.

Die Molekeln der kontraktilen Substanz sind nicht ganz so labil wie die des Nitroglyzerins, auch scheint die Zerlegbarkeit der einzelnen Molekeln fortwährenden Schwankungen zu unterliegen. Daher wird infolge einer Reizung immer nur ein Teil der Molekeln wirklich zerlegt und die Erzeugung kinetischer Energie (Kontraktion) kann öfter hintereinander erfolgen.

zuweilen sehr erheblich übertreffen. Es kann aber auch das Umgekehrte der Fall sein. Denn die Energieleistung, deren ein gereiztes Gebilde fähig ist, hängt von der Quantität der in ihm vorhandenen, leicht in kinetische überführbaren potentiellen Energie ab. Über die durch die Menge der aufgespeicherten potentiellen Energie gegebene Größe kann sie unter keinen Umständen hinausgehen. Wohl aber kann sie unter diesem möglichen Maximum bleiben, wenn durch den Reiz nicht sofort die ganze vorhandene Energie, sondern nur ein Teil derselben ausgelöst wird. Beim Muskel lässt sich leicht zeigen, dass die Stärke des Reizes zwar die Größe der ausgelösten Wirkung beeinflusst, dass aber durchaus keine Proportionalität zwischen beiden besteht. Für jeden Muskel giebt es eine minimale Reizstärke, welche eben ausreicht, den Muskel zu einer gerade noch wahrnehmbaren Kontraktion zu veranlassen. Verstärkt man den Reiz, so wird auch die Kontraktion stärker, bis sie das für diesen Muskel mögliche Maximum erreicht hat, über welches sie nicht hinausgehen kann, wenn auch die Reizung noch so sehr gesteigert wird.

Das Gleiche gilt auch für andere reizbare Gebilde, namentlich für Nerven, wenn auch die Messung der ausgelösten kinetischen Energie bei diesen nicht so leicht ist wie beim Muskel. Da die in den Nerven ausgelösten Energiewirkungen immer sehr klein sind, so kann es bei ihnen noch leichter als beim Muskel vorkommen, dass die ausgelöste Wirkung kleiner ist als die Energie des auslösenden Reizes, während beim Muskel sehr oft das Gegenteil der Fall ist.

Wir schreiben Muskeln und Nerven, weil schon außerordentlich schwache Reize sie zu lebhafter Thätigkeit veranlassen, eine hohe Reizbarkeit oder Erregbarkeit zu. Die Erregbarkeit der Nerven ist größer als die der Muskeln, sie wird aber noch übertroffen durch diejenige der Aufnahmeorgane, von denen später die Rede sein wird. Die Energie der Ätherschwingungen, welche ausreicht, eine merkliche Erregung in den leichtempfindlichen Elementen des Auges hervorzubringen, ist kaum in Zahlen angebbar.

Indem man die an Muskeln gewonnenen Vorstellungen auch auf andere Gebilde überträgt, hat man sich daran gewöhnt, auch bei diesen von Reizung und von Auslösung zu sprechen. Wir werden vielleicht bei tieferer Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen dazu kommen, manche jetzt als Reizungen betrachtete Vorgänge von den anderen zu trennen. Vorläufig können wir als gemeinsames Merkmal aller sogenannten Reizungsvorgänge nur hinstellen, dass bei ihnen, wie bei echten Auslösungen, keine Proportionalität zwischen dem einwirkenden Anlass und der von ihm hervorgerufenen Wirkung besteht. Es kann also keinesfalls von einer einfachen Übertragung der Energie die Rede sein.

Bei echten Auslösungen ist das Auslösende immer ein kinetischer

Vorgang. Das gilt auch von allen Reizen, welche auf Muskeln wirken. Aber schon bei den Aufnahmeorganen trifft es nicht immer zu, wie wir an denen der Haut sehen, welche durch einen gleichförmigen Druck erregt werden können. Und doch wird man nicht umhin können, auch die Druckwirkung auf die Nervenendigungen der Haut als Reiz zu bezeichnen. Freilich bekommt dann die Definition des Reizes als eine Art von Auslösung einen sehr unbestimmten, von der physikalischen Bedeutung des Wortes völlig abweichenden Sinn.

8. Verhältnis von Reiz und Wirkung.

3. Obgleich beim Muskel der Mangel der Proportionalität zwischen Reiz und Leistung sehr leicht festzustellen ist, gelingt es doch nicht, die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen beiden genauer zu ermitteln. Auf die Größe der Muskelleistung haben sehr viele Umstände Einfluss, von welchen, wie man zu sagen pflegt, der Zustand des Muskels abhängt. Dasselbe gilt, womöglich in noch höherem Maße, von den nervösen Gebilden. Dennoch kann man gerade bei den letzteren eine numerische Beziehung zwischen der Stärke des Reizes und der Größe der Wirkung angeben. Wir können zwar die Größe einer Empfindung nicht direkt messen, wohl aber können wir feststellen, um welchen Betrag die Reizstärke zunehmen muss, um einen eben bemerkbaren Unterschied der Empfindung hervorzurufen.

Diese Art, die Beziehungen zwischen Reizstärke und Empfindungsgröße zahlenmäßig zu bestimmen, fand zuerst Anwendung in Versuchen E. H. Weber's über den Drucksinn. Legt man zwei verschiedene Gewichte abwechselnd auf eine und dieselbe Hautstelle, so kann man nur dann mit Bestimmtheit empfinden, welches das schwerere ist, wenn der Unterschied der Gewichte nicht zu klein ist. Weber fand, dass er um so größer sein musste, je schwerer die Gewichte selbst waren, u. z. musste der Unterschied immer nahezu derselbe Bruchteil des kleineren Gewichtes sein. Man kann dies auch so ausdrücken:

Wenn die Reizstärke von dem Werte p zu dem Werte $p + d$ steigt, und die dadurch hervorgerufenen Empfindungen um den eben merklichen Betrag e wachsen, so muss, um dieselbe Zunahme der Empfindung hervorzurufen, eine doppelt so große Reizung $2p$ um den doppelten Betrag $2d$ wachsen. Dieses Gesetz gilt, wenn auch nicht ganz streng, für alle Empfindungen, bei welchen man die Reizstärken messen kann; es scheint also Anspruch auf eine gewisse allgemeinere Giltigkeit zu haben.

Wenn, wie es beim isolierten Muskel der Fall ist, durch den Reiz eine in dem gereizten Gebilde aufgespeicherte potentielle Energie zum Übergang in kinetische veranlasst, d. h. ausgelöst wird, so muss die durch wiederholte Reizungen auslösbare Wirkung quantitativ begrenzt sein. Dem entspricht es, dass der Muskel, wenn er

oft hintereinander gereizt wird, erschöpft wird (vgl. Kap. 18 § 8). In lebenden Geweben werden die Stoffumsetzungen durch Zufuhr und Assimilation neuer Stoffe wieder ausgeglichen, so dass neue, durch hinreichend lange Pausen unterbrochene Reize wieder ein leistungsfähiges Gebilde treffen. Wird durch die Reize immer nur ein Bruchteil der vorrätigen Energie ausgelöst, oder sind die ausgelösten Wirkungen nicht mit merklichem Stoffverbrauch verbunden, so braucht es gar nicht zur Erschöpfung zu kommen. Dies scheint für die Nervenfasern zuzutreffen, deren Leistung jedenfalls nur mit außerordentlich kleinem Aufwand mechanischer Energie verbunden ist. Ermüdung von der Art, wie sie am Muskel auftritt, oder gar Erschöpfung ist daher an Nervenfasern nicht nachweisbar. Wohl aber kommt sie an den Centralorganen des Nervensystems vor, deren Thätigkeit mit größeren chemischen Stoffumsetzungen verbunden zu sein scheint[1]).

Als Wirkungen von Reizen können alle diejenigen Erscheinungen auftreten, welche wir im Eingang des vorigen Kapitels als Leistungen der Organismen kennen gelernt haben, also molare, molekulare und Ätherbewegungen und die ihrer Natur nach schwer zu definierenden sogenannten psychischen Vorgänge. Am häufigsten treten als Reizwirkungen die molaren Bewegungen auf, namentlich in der Form der Kontraktion. Ob auch die in Form der Wärmeproduktion mit allen Lebensprozessen stets verbundene molekulare Bewegung durch Reize hervorgerufen oder die schon vorhandene durch sie verstärkt werden kann, ist durch unzweideutige Versuchsergebnisse nicht erwiesen. Es ist mehrfach behauptet worden, dass die Wärmeproduktion durch Reize, welche vom Nervensystem ausgehen, vermehrt werde. Die Versuchsergebnisse lassen aber auch die Deutung zu, dass die beobachteten Temperatursteigerungen durch Verminderung der Wärmeausgabe zu stande kommen; die Vermehrung der Wärmeproduktion durch Nervenreizung ist also nicht sicher erwiesen. Dagegen ist es unzweifelhaft, dass die beiden Formen von Ätherbewegungen, welche bei Lebewesen auftreten, die Erzeugung elektrischer Strömung und die Lichterzeugung, durch Reizung hervorgerufen werden.

Eine besondere Erschwerung erwächst der Erforschung der Reizwirkungen aus dem Umstand, dass nicht selten mehrere Reize verschiedener Art gleichzeitig wirksam sind. Nicht immer sind wir in der Lage, durch passend angeordnete Versuche den Einfluss

[1]) Es ist von verschiedenen Forschern angegeben worden, dass in den nervösen Centralorganen infolge von Erregungen vermehrte Wärmeproduktion stattfinde. Sind auch die Versuche nicht ganz einwandfrei, so ist doch die Sache selbst nicht unwahrscheinlich.

jedes einzelnen Reizes gesondert zu ermitteln. Rechnen wir dazu noch, dass in vielen Fällen Reizungen ohne unser Zuthun auftreten, und dass wir nicht immer imstande sind, die Bedingungen für das Entstehen dieser „inneren Reize" festzustellen, so wird man sich nicht wundern, dass noch viele Fragen ungelöst geblieben sind. Wir sind daher in diesem Kapitel der Physiologie noch mehr als in manchen anderen darauf angewiesen, die bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen einfach aufzuzählen und es der zukünftigen Forschung zu überlassen, den Zusammenhang der Erscheinungen untereinander und mit den Erscheinungen aus anderen Gebieten aufzuklären, was wir ja als Ziel aller Naturwissenschaft ansehen.

4. Tropismus und Taxis.

4. Auch an nicht kontraktilen Gebilden treten als Wirkung von Reizen molare Bewegungen auf. Bei festsitzenden Organismen, insbesondere bei Pflanzen und Teilen von Pflanzen, erscheinen sie als Krümmungen, welche auf ungleichmäßiges Wachstum zurückgeführt werden können, bei freibeweglichen Organismen teils als Bewegungen nach einer bestimmten Richtung hin, teils als Annahme einer bestimmten Stellung, als Orientierung nach einer gewissen Axe. Die erstere Form einer derartigen Wirkung wird Tropismus, die zweite wird Taxis genannt. Je nach der Art des Reizes unterscheidet man verschiedene Arten von Tropismus und Taxis. Man spricht von Geotropismus und Geotaxis, von Heliotropismus und Heliotaxis u. s. w. und wendet außerdem die Zusätze positiv und negativ an, um anzudeuten, ob die Bewegung nach dem Orte, von dem der Reiz ausgeht, hin gerichtet oder von ihm weg gewendet ist.

Wir haben schon früher (Kap. 15 § 4) erfahren, dass bei der Keimung einer Pflanze die Wurzel abwärts, dem Erdmittelpunkt zu, der Stammteil vom Erdmittelpunkt fort, senkrecht aufwärts wächst (vgl. Fig. 93, S. 338). Dass in der That die Beziehung zur Erde maßgebend ist, zeigt folgender Versuch.

Legt man einen Keimling, nachdem er eine gewisse Länge erreicht hat, horizontal, so wendet sich die Wurzelspitze immer wieder nach unten, der Stammteil nach oben. Dass dies durch Krümmung infolge ungleichen Wachstums an zwei entgegengesetzten Seiten geschieht, lässt sich leicht nachweisen, wenn man an dem gerade und senkrecht gewachsenen Pflänzchen, ehe man es in die horizontale Lage bringt, mit Tusche Marken in gleichen Abständen macht; dieselben rücken bei der dann eintretenden Krümmung an der konvexen Seite viel weiter auseinander als an der konkaven. Die Lage hat also an der Wurzel sowohl wie am Stammteil einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Wachstums. An der Wurzel ist das Wachstum an der oberen Seite beschleunigt, an der unteren

verlangsamt, am Stammteil ist es umgekehrt. Dass es sich dabei um einen Einfluss der Schwere handelt, lässt sich in folgender Weise demonstrieren. Befestigt man den Keimling an der Peripherie einer Scheibe, welche um eine vertikale Axe in schnelle Rotation versetzt wird, so wächst die Wurzel schräg nach unten und außen (von der Axe fort), der Stammteil schräg nach oben und innen (der Axe zu). Die Abweichung von der Vertikalen ist um so bedeutender, je größer die Geschwindigkeit der Drehung ist. Wir sehen also, dass sich hier zwei Einflüsse geltend machen, die Schwere und die sogenannte Centrifugalkraft, und dass die Wachstumsrichtung mit der Resultante der beiden Komponenten zusammenfällt. Lässt man dagegen einen Keimling in beliebiger Lage um eine horizontale Axe sich langsam drehen, so wird der Einfluss der Schwere ganz ausgeschaltet; er wächst dann stets in der Richtung fort, die er vorher hatte. Krümmungen treten nicht ein.

In allerneuester Zeit sind Beobachtungen gemacht worden, welche den Mechanismus, durch den die geotropischen Krümmungen zu stande kommen, aufzuklären geeignet sind. Die reizbaren Teile an der Wurzelspitze sind von einer Schicht von Zellen umgeben, deren Zellsaft sehr dünnflüssig und deren Stärkekörner auffallend groß sind. Bei jeder Lage sinken die Stärkekörner auf die nach unten gerichtete Seite des protoplasmatischen Wandbelags. Sie üben infolge dessen einen Druckreiz aus; die dadurch entstehende Erregung wird durch das Protoplasma der angrenzenden Zellen bis zu der in einiger Entfernung von der Wurzelspitze befindlichen Wachstumszone fortgeleitet[1]).

Die Schwere wirkt auf die Wurzel entgegengesetzt wie auf den Stammteil; die erstere wächst nach dem Mittelpunkt der Erde zu, der andere von ihm fort. Man nennt deshalb die erstere positiv, den anderen negativ geotropisch. Andere Pflanzenteile, Zweige, Nebenwurzeln und Blätter stellen sich meist unter bestimmten Winkeln gegen die Lotlinie ein; man nennt diese Eigenschaft Diageotropismus. Ungleiche Wachstumsgeschwindigkeit der Seiten in gleicher Horizontalebene veranlasst die Drehungen der Schlinggewächse (Lateralgeotropismus).

Geotropische Erscheinungen an festsitzenden Tieren sind an Hydroidpolypen von Loeb und Driesch beobachtet worden. Negative Geotaxis, also Bewegungen in der Richtung der Schwerlinie nach oben, kommt bei Flagellaten und verschiedenen anderen Infusorien vor; Euglenen z. B. streben, mit dem geißeltragenden Ende voran, der höchsten Stelle des Wassers zu, in welchem sie schwimmen.

---

[1]) Über die Leitung von Erregungen vgl. den folgenden Paragraphen.

Die gleiche Deutung giebt Loeb der Erscheinung, dass eben der Puppe entschlüpfte Schmetterlinge unruhig hin und her laufen, bis sie an eine vertikale Wand kommen, an welcher sie sich, mit dem Kopf nach oben gerichtet, festsetzen. Als Heliotropismus oder Phototropismus bezeichnet man eine in der Pflanzenwelt ungemein verbreitete Erscheinung, welche besonders deutlich an jungen Keimpflanzen zu beobachten ist. Diese wachsen bei einseitiger Belichtung stets der Richtung des auffallenden Lichtes entgegen; dabei stellen sich die Blüten und Blätter senkrecht zur Richtung des Lichts. Die Stengel und Blattstiele nennt man positiv heliotropisch, die Blätter diaheliotropisch. Die Wurzeln dagegen sind negativ heliotropisch, sie wenden sich vom Licht fort, wie man an Luftwurzeln bei einseitiger Belichtung sehen kann. In sehr hellem Licht stellen sich jedoch die Blätter mancher Pflanzen so ein, dass ihre Ebene mit der Meridianebene zusammenfällt und dass sie mit ihrer Längsachse von Nord nach Süd gerichtet sind (Kompasspflanzen).

Dass die heliotropischen Krümmungen der Stengel durch Beschleunigung des Wachstums auf der einen oder Verzögerung auf der andern der ungleich belichteten Seiten zu stande kommen, kann man ebenso wie bei den geotropischen Krümmungen durch Beobachtung des Auseinanderrückens vorher angebrachter Marken nachweisen. Dreht man die Pflanzen beständig um eine vertikale Achse, so dass sie von allen Seiten gleichmäßig vom Licht getroffen werden, so bleibt jede heliotropische Krümmung aus. Beim positiven Heliotropismus geht das Wachsen auf der belichteten Seite langsamer vor sich als auf der beschatteten, beim negativen umgekehrt auf der beschatteten Seite. Wirksam sind nur die stärker brechbaren Strahlen des weißen Lichtes, Blau und Violett, also diejenigen, welche auf die Zerlegung des Kohlendioxyds durch das Chlorophyll am schwächsten einwirken.

An festsitzenden Tieren sahen Driesch und Loeb bei Hydroidpolypen gleichfalls heliotropische Erscheinungen.

Phototaktische Bewegungen sind ungemein verbreitet. Bringt man in einen schwach belichteten Wassertropfen viele Exemplare von *Euglena viridis*, so sieht man sie nach allen Richtungen umherschwimmen. Sobald Licht von einer Seite her einfällt, stellen sie ihre Längsachse in die Richtung der Strahlen und bewegen sich, wenn der Tropfen nur teilweise belichtet ist, alle nach der belichteten Stelle hin (positive Heliotaxis). Ebenso verhalten sich zahlreiche andere Flagellaten sowie viele Schwärmsporen, ferner Desmidiaceen und Diatomeen, von Metazoen ebenso *Hydra viridis*, ja sogar viele Insekten. Der stärker brechbare Teil des sichtbaren

Spektrums ist auch hier der wirksamere. Ist das Licht sehr stark, so kehrt sich die positive Phototaxis in negative um. Negativ phototaktisch auch gegen schwaches Licht ist das Plasmodium der Lohblüte, *Fuligo varians* oder *Aethalium septicum*, welches bei Dunkelheit auf der Oberfläche der Lohe umherwandert, bei Belichtung sich ins Innere zurückzieht, ferner die Larven der Mehlkäfer und verschiedener Fliegen. Die Erscheinungen der Phototaxis sind oft schwer von den durch den Lichtsinn bei Tieren veranlassten zu unterscheiden. (Über diesen vgl. § 11.)

Als Chemotropismus wird die Beeinflussung des Wachstums durch allerlei Stoffe bezeichnet. Pilzhyphen ändern ihre Wachstumsrichtung, wenn in ihrer Nähe gewisse chemische Stoffe sich befinden. Die neutralen Salze der Phosphorsäure und des Ammoniums, Traubenzucker, Pepton und Asparagin wirken sozusagen anziehend (positiver Chemotropismus), wenn die Lösungen nicht zu konzentriert sind; Alkohol, freie Säuren und Alkalien, Kochsalz und Kalisalpeter wirken selbst in den geringsten Konzentrationen immer abstoßend (negativer Chemotropismus). Die Pilzfäden wenden sich im ersten Falle nach dem Orte hin, wo der chemische Stoff ist, im anderen Falle von ihm fort. Als Chemotropismus kann auch das Hineinwachsen des Pollenschlauches in die Narbe bei den höheren Pflanzen aufgefasst werden. Atmosphärische Luft und insbesondere der in ihr enthaltene Sauerstoff wirken chemotropisch auf Wurzeln und Pollenschläuche (Aërotropismus); beide wachsen nach den Stellen geringerer Sauerstoffspannung hin. Positiv hydrotropisch, d. h. in ihrer Wachstumsrichtung dem größeren Wassergehalt sich zuwendend, verhalten sich Wurzeln und Pilzmycelien; die Sporangienträger der Pilze dagegen wachsen von den Stellen größeren Wassergehaltes fort. Auch die Bildung von Gallen infolge von Insektenstichen kann als chemotropische Reizwirkung aufgefasst werden.

Chemotaktisch verhalten sich nach den Untersuchungen Pfeffer's u. A. die Samenfäden der Farne, der Laubmoose, viele mit Hilfe von Geißeln sich bewegende Bakterien, Infusorien und andere Lebewesen oder auch nach Art der Amöben sich bewegende Zellen und einzellige Lebewesen. Die chemotaktische Anziehung der erstgenannten durch Stoffe, welche in den weiblichen Zeugungsorganen vorhanden sind, spielt bei den Befruchtungsvorgängen jener niederen Pflanzen, wahrscheinlich aber auch bei denjenigen höherer Lebewesen eine wichtige Rolle. Zum Studium dieser Erscheinungen füllte Pfeffer kapillare Glasröhrchen mit der zu untersuchenden Lösung und führte sie in das Wasser ein, in welchem die Lebewesen umherschwammen. Nach kurzer Zeit waren diese in die Mündung der Kapillaren eingedrungen, wenn sie sich positiv

chemotaktisch gegen die in den Röhrchen enthaltenen Stoffe verhielten.

Für die Samenfäden der Farne sind neutrale Salze der Äpfelsäure, für diejenigen der Laubmoose Rohrzuckerlösungen wirksame Anlockungsmittel. Auf andere Organismen wirken Chlorkalium, Peptone, Fleischextrakt anziehend. Jede Substanz muss, um anziehend zu wirken, eine gewisse, sehr geringe Konzentration haben[1]). Wird die Konzentration zu stark genommen, so kehrt sich die positive Chemotaxis in negative um; Alkohol, sauer und alkalisch reagierende Flüssigkeiten wirken immer abstoßend; gegen sie verhalten sich alle darauf hin untersuchten Organismen negativ chemotaktisch.

Unterarten der Chemotaxis sind die Hydro- und die Aërotaxis. Plasmodien von *Fuligo varians* wandern, solange sie jung sind, nach den Stellen größeren Wassergehaltes hin, wenn die Fruchtbildung beginnt, von diesen fort; Bakterien sammeln sich je nach ihrem Sauerstoffbedürfnis, an Orten höherer oder geringerer Sauerstoffspannung (vgl. Kap. 14, § 4).

Auf Chemotaxis lässt sich auch die massenhafte Ansammlung von Leukocyten an solchen Stellen des Organismus höherer Tiere zurückführen, an denen sich die Zersetzungsprodukte eingedrungener Bakterien in größerer Menge angehäuft haben. Die Leukocyten werden dort Ursache der Eiterbildung. Auch die Anziehung von Fliegen oder ihren Larven durch faules Fleisch u. dgl. oder die Anlockung der Männchen durch die Weibchen, welche häufig auf sehr weite Entfernungen hin stattfindet, kann als Chemotaxis aufgefasst werden. Wie bei der Phototaxis Übergänge zum Lichtsinn, so giebt es auch allmähliche Übergänge von der Chemotaxis zu wirklichem Geruchssinn. Die Grenze zwischen den hier behandelten Reizerscheinungen und den durch Einwirkungen auf Sinnesnerven hervorgerufenen ist schwer zu bestimmen.

Auch einseitige Wärmewirkung hat ähnliche, als thermotropische und thermotaktische bezeichnete Wirkungen zur Folge. Mit dem Namen Rheotropismus hat man die Erscheinung belegt, dass manche Wurzeln sowie Plasmodien von *Fuligo* strömendem Wasser entgegen wachsen. Auch einseitige Berührung übt tropische und taktische Wirkungen aus (Stereotropismus und Stereotaxis). Von den letzteren hebe ich eine heraus; Samenfäden von *Periplaneta orientalis* (der Bäckerschabe), welche an eine

[1]) Enthält das Wasser, in welchem die beweglichen Lebewesen umherschwimmen, etwas von dem reizenden Stoff, so muss derselbe, um anziehend zu wirken, in den Glasröhrchen eine höhere Konzentration haben. Dabei zeigt sich etwas Ähnliches wie bei dem in § 3 angeführten Weber'schen Gesetz; de Überschuss der Konzentration muss ungefähr proportional der Konzentration in dem umgebenden Wasser sein.

feste Fläche geraten sind, kommen nicht mehr von ihr los, sondern kreisen fortwährend in derselben Richtung auf der Fläche umher. Ebenso verhalten sich die Samenfäden der Frösche. Wahrscheinlich kommt das Gleiche auch noch bei anderen Samenfäden vor und wird vielleicht bei dem zur Befruchtung notwendigen Eindringen der Samenfäden in das Ei nützlich. Am auffallendsten aber ist der Einfluss konstanter galvanischer Ströme auf allerlei Lebewesen (Galvanotaxis). Wie zuerst L. HERMANN beobachtet hat, stellen sich Kaulquappen und Fischembryonen in Wasser, durch welches ein konstanter Strom geleitet wird, in der Richtung der Stromkurven derart ein, dass sie ihr orales Ende der Anode zuwenden. Ähnliche Beobachtungen sind auch an anderen höheren Tieren gemacht worden. An niederen Lebewesen, Infusorien, Amöben u. dgl., ist die Galvanotaxis von VERWORN eingehend studiert worden. Paramaecien sammeln sich an der Kathode, auf welche sie, den Stromkurven folgend, zuschwimmen. Amöben kriechen gleichfalls der Kathode zu. Dagegen bewegen sich viele Geißelinfusorien mit dem Geißelende voran zur Anode hin. Manche Wimperinfusorien zeigen transversale Galvanotaxis, indem sie sich senkrecht auf die Richtung der Stromkurven einstellen. Ob es sich bei diesen Erscheinungen um Reizungen der kontraktilen Substanzen handelt, und wie weit chemische Wirkungen infolge der Elektrolyse dabei mitspielen, ist unbekannt.

5. Reizerscheinungen durch Turgoränderung.

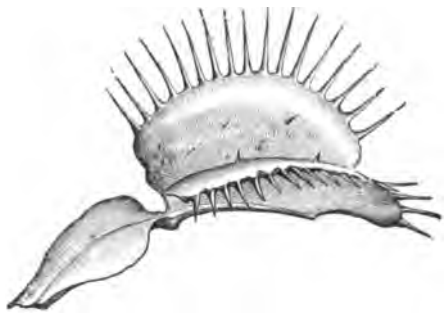


Fig. 112.

Blatt von Dionaea muscipola. Die obere Fläche der beiden Blatthälften trägt Drüsen, welche das Verdauungssekret absondern, und auf jeder Hälfte drei sehr reizbare Haare, bei deren Berührung die Blatthälften zusammenklappen, so dass Insekten gefangen werden.

5. Größere Ähnlichkeit mit den durch Kontraktion zustande kommenden Reizerscheinungen weisen eine Reihe von Bewegungen auf, welche man an einigen höheren Pflanzen beobachtet. Die Bewegungen der Drüsententakeln und des Blattes von *Drosera rotundifolia* nach Berührung der Tentakeln wurden schon erwähnt (s. Fig. 72, S. 346). Ganz ähnliche Erscheinungen zeigt auch das Blatt der gleichfalls insektenfressenden *Dionaea muscipola* (Fig. 112). Das Blatt hat einen langen, mit seitlichen Flügeln versehenen Blattstiel und eine, aus zwei symmetrischen Hälften bestehende, an den Rändern mit spitzen Stacheln versehene Blattspreite. Auf der oberen Fläche jeder Blatthälfte sitzen je drei Haare,

welche sehr reizbar sind. Werden die Haare berührt, so klappen die Blatthälften zusammen, wobei die seitlichen Stacheln ineinander greifen. Ein die Haare berührendes Insekt wird auf diese Weise gefangen.

Die Bewegung kommt zu stande durch plötzlichen Wasseraustritt aus Zellen, welche an der oberen Seite der Mittelrippe des Blattes liegen, was zu einer Verminderung des Turgors dieser Zellen Anlass giebt. Ähnlich ist es mit den auffälligen Bewegungen an der Sinnpflanze, *Mimosa pudica* (Fig. 113). Jeder Blattstiel dieser Pflanze trägt vier Stiele zweiter Ordnung, an welchen die Blättchen sitzen. Die Ursprungsstellen der Hauptstiele, der Stiele

Fig. 113.

Zweig von Mimosa pudica, links im ungereizten, rechts im gereizten Zustand. Die Haupt- und Nebenstiele sind in letzterem gesenkt, die Blättchen nach oben zusammengeklappt.

zweiter Ordnung und der Blättchen sind zu Gelenkwülsten verdickt. Bei Berührung derselben oder Erschütterung der ganzen Pflanze sinken die Stiele durch ihre Schwere nach abwärts, während die Blättchen sich nach oben aneinander legen. An der unteren Seite der Stielgelenke und an der oberen der Blättchengelenke sitzen wasserreiche Zellen, welche sehr reizbar sind. Aus ihnen tritt infolge der Reizung Wasser in die Interzellularräume aus. Sie verlieren ihren Turgor. Dadurch geben die Stiele der Schwere nach, während die leichten Blättchen durch den Turgor der unteren Zellen nach oben geklappt werden. Bemerkenswert ist, dass die Bewegung, wenn der Reiz nicht an den Polstern, sondern auf das Ende eines Stiels zweiter Ordnung einwirkt, langsam von einem der beweglichen Teile auf die anderen übergeht, zuerst auf die

Blättchen desselben Nebenstiels, von da auf die anderen Nebenstiele und zuletzt auf den Hauptstiel.

Man kann die Erscheinung der „Reizleitung“ an allen reizbaren Gebilden beobachten, welche eine etwas größere Ausdehnung haben. Was fortgeleitet wird, ist nicht der Reiz selbst, sondern die durch den Reiz hervorgerufene Veränderung, die Erregung, welche selbst mit keiner sichtbaren Veränderung an dem erregten Organ verbunden zu sein braucht, aber eine solche hervorruft, sobald sie auf ein dazu geeignetes Organ übertragen wird. Am deutlichsten zeigt sich das bei der Reizung der Nervenfasern, welche sehr erregbar sind, deren Erregung aber erst zur Erscheinung kommt, wenn sie von der Nervenfaser auf ein mit dieser verbundenes Organ, z. B. einen Muskel, übertragen wird. Ähnlich ist es bei Pflanzenwurzeln, deren Spitze geotropisch und hydrotropisch reizbar ist, deren Erregung jedoch erst in einiger Entfernung von der Spitze als Krümmung sichtbar wird, an Stellen, welche selbst gegen den geotropischen oder den Reiz wasserdampfhaltiger Luft unempfänglich sind. Vgl. das in § 4 über den Geotropismus Gesagte.

Damit die Erregung sich fortpflanze, ist die Kontinuität des erregbaren Protoplasmas unbedingt notwendig. Darum breitet sich bei einzelligen Gebilden eine an irgend einer Stelle entstandene Erregung immer über das ganze Protoplasma der Zelle aus. Sie kann sich aber auch von Zelle zu Zelle fortpflanzen, wenn die Protoplasmen unmittelbar aneinander liegen oder, wenn sonst getrennte Zellen durch Protoplasmabrücken miteinander verbunden sind. Diese Art der Erregungsleitung ist bei glatten Muskelfasern außerordentlich verbreitet. Noch ausgeprägter ist die Erscheinung der Erregungsleitung bei Gebilden von linearer Form. Ist diese sehr deutlich ausgeprägt, so schreibt man den Gebilden Faserstruktur zu, und wenn die Fasern von nichtleitenden Hüllen umgeben sind, wie es bei den quergestreiften Muskeln und bei den Nervenfasern der Fall ist, dann kann die Fortpflanzung der Erregung nur in der Längsrichtung erfolgen, geht aber nicht von den gereizten Fasern auf die benachbarten über, sondern bleibt in den gereizten Fasern isoliert. Die Fortleitung der Erregung wird sofort unmöglich, wenn die Kontinuität der leitenden Substanz der Fasern irgendwo durch Schnitt, Quetschung oder sonstige Verletzung unterbrochen ist[1]).

[1]) In den verzweigten, mit ihren Ästen aneinanderliegenden Muskelfaserzellen des Herzens pflanzt sich jede irgendwo entstandene Erregung über alle zusammenhängenden Zellen fort, die man gleichsam als eine einzige, sehr große, unregelmäßig gestaltete Muskelfaser ansehen kann. — Bemerkenswert ist, dass die erregungsleitende Substanz der Pflanzenwurzeln Faserstruktur aufweist, welche einigermaßen an Nervenfibrillen erinnert. Ein geeignetes Objekt für die

Ist die erregbare Substanz zugleich kontraktil, wie es bei Muskelfasern der Fall ist, dann ist die Erregung mit gleichzeitiger Verkürzung an den Stellen, zu denen die Erregung gelangt, verbunden. Wird eine lange, quergestreifte Muskelfaser an einer beschränkten Stelle gereizt, so pflanzt sich eine Kontraktionswelle von der Stelle der Reizung nach beiden Richtungen bis zu den Enden der Faser hin fort. Die Geschwindigkeit der Fortleitung beträgt bei frischen Froschmuskeln etwa 4 m in der Sekunde.

Bei Nervenfasern, an denen sich die Erregung durch kein auffälliges Zeichen offenbart, hat HELMHOLTZ die Geschwindigkeit dadurch gemessen, dass er die mit Muskeln verbundenen Fasern einmal sehr nahe dem Muskel und unmittelbar darauf in größerer Entfernung von diesem reizte und den Unterschied der zwischen der Reizung und dem Beginn der Zuckung verflossenen Zeiten bestimmte. Er fand so für die Nerven des Frosches eine Geschwindigkeit von 24 m in der Sekunde, wenn die Nerven Zimmertemperatur hatten; bei niedrigerer Temperatur wurde die Geschwindigkeit kleiner, bei höherer Temperatur größer. Bei den Nerven des unversehrten menschlichen Körpers fand er die Geschwindigkeit gleich 33 m in der Sekunde.

Man kann den Vorgang der Erregung auch an vollkommen isolierten Nervenfasern nachweisen, da dieselbe mit Änderungen des elektrischen Verhaltens verbunden ist. Während die Erregung sich in der Nervenfaser fortpflanzt, ist jede gerade im Erregungszustande befindliche Stelle elektrisch negativ gegen jede nicht erregte Stelle. Dasselbe zeigt sich an Muskeln, und ähnlich scheint es an anderen erregbaren Gebilden, auch der Pflanzen, z. B. an den Blättern der *Dionaea muscipola* und den Stielen der *Mimosa pudica*, zu sein, an welchen gleichfalls elektrische Veränderungen infolge von Reizung eintreten (vgl. Kap. 18, § 9).

An reizbaren Teilen anderer Pflanzen sind elektrische Erscheinungen, welche die Erregung begleiten, meines Wissens noch nicht nachgewiesen worden.

6. Die Leistungen des Nervensystems haben wir im 11. Kapitel in ihren Grundzügen kennen gelernt, soweit dies ohne eingreifende 6. Nervensystem.

Beobachtung der Erregungsleitung sind auch die Wimperplatten der Ctenophoren (s. Kap. 18, § 6). Die einzelnen Platten hängen durch das Protoplasma der Rippen, auf denen sie aufsitzen, miteinander zusammen. Dieses vermittelt die Fortleitung in der Art, dass die an einem Ende beginnende Erregung sich auf jede folgende Platte überträgt. Schneidet man die Rippe zwischen zwei Platten durch oder entfernt man eine Platte ganz, so schlagen die beiden durch die Verletzung getrennten Plattengruppen jede für sich, unabhängig voneinander. Die Bewegung beginnt in der ersten und setzt sich bis zur letzten Platte jeder Gruppe fort, geht aber nicht von einer Gruppe zur anderen weiter.

Versuche durch Beobachtungen am Kaninchen möglich war. Namentlich wurde dort auf den wichtigen Unterschied zwischen den fast ausschließlich aus Nervenfasern bestehenden peripherischen Nerven und dem Centralnervensystem hingewiesen. Eine scharfe Trennung beider besteht freilich nur bei Wirbeltieren. Im Gegensatz zu diesen ist das Nervensystem der niedersten Metazoen[1]), bei denen überhaupt ein solches vorkommt, wie wir sagen können, diffus verbreitet. Bei den höheren wirbellosen Tieren endlich finden wir eine Anordnung, welche gleichsam die Mitte zwischen diesen beiden Formen einnimmt, indem sich ihr Nervensystem aus einer Anzahl größerer oder kleinerer miteinander durch Fasern verbundener Knoten, Ganglien genannt, und von diesen ausgehenden, dem peripherischen Nervensystem der Wirbeltiere vergleichbaren, aus Fasern bestehenden Nerven zusammensetzt.

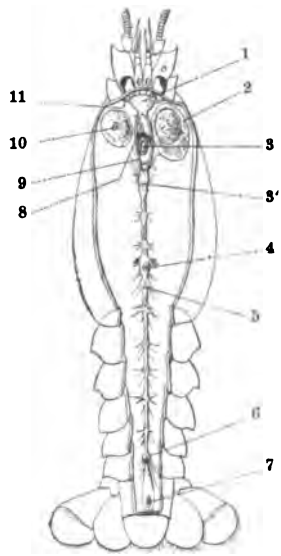


Fig. 114.
Nervensystem des Krebses. 1 Hirnganglion, 2 grüne Drüse, 3 Speiserohr (durchschnitten), 3' Unterschlundganglion, 4 Arterie (durchschnitten), 5 sechstes Brustganglion, 6 letztes Bauchganglion, 7 After, 8 Mund-Magennerv, 9 Schlundring, 10 grüne Drüse, 11 Antennennerv. Die Nervenstämme sind abgeschnitten.

Das Nervensystem enthält immer zwei voneinander verschiedene Elemente, Nervenfasern und Nervenzellen. Bei manchen niederen Metazoen besteht es aus einem zarten Netz verzweigter Zellen; aber schon bei den Medusen finden wir am Rand der Glocke einen Kranz von Nervenzellen, welche durch einen ringförmigen Faserstrang untereinander verbunden sind; von ihm gehen Nervenfasern zu den Muskel- und zu den Ektodermzellen. Wir sehen hier also schon die erste Andeutung der Zusammenfassung der Zellen zu Nervenzellhaufen oder Ganglien. Als Beispiel eines ausgeprägten Nervensystems der zweiten Art möge das in Fig. 114 abgebildete Nervensystem des Krebses dienen. Entsprechend dem symmetrischen Bau des Krebskörpers ist bei ihm die Reihe der Ganglien in eine rechte und eine linke geteilt. Aber die Teilung ist eine unvollständige; die Ganglien sind miteinander verschmolzen, und nur schwache Einkerbungen deuten die Zweiteilung an. Deutlicher erscheint sie bei Insekten. Infolgedessen sind bei diesen auch

[1]) Bei Pflanzen und Protozoen findet man keine den Nerven gleichwertigen Gebilde (vgl. jedoch die Anm. S. 502), doch besitzen viele Protisten schon den Sinnesorganen nahestehende Organe. Wahre Nerven haben alle Tiere von den Hydrozoen aufwärts.

die verbindenden Längsstränge doppelt; die Ganglien der rechten und linken Seite hängen durch Verbindungsfasern zusammen (Strickleitersystem).

Die beiden vordersten, in der Regel auch größten Ganglien sind bei den Arthropoden zu einem großen Ganglion verschmolzen, welches oberhalb des Schlundes liegt und mit einem kleineren, unterhalb des Schlundes gelegenen, durch zwei Faserzüge verbunden ist (Schlundring). Von jenem großen Oberschlundganglion entspringen die Nerven für die höheren Sinnesorgane (Auge, Ohr). Da diese bei Wirbeltieren ihre Nerven aus dem Gehirn erhalten, so bezeichnet man der Analogie wegen jene Ganglien der Wirbellosen auch als Gehirn.

Ein Teil der Nervenzellen bleibt auch bei Wirbeltieren gesondert bestehen; viele von ihnen bilden, ähnlich wie bei Wirbellosen, eine doppelte Reihe von Ganglien, welche, durch längsverlaufende Bündel miteinander verbunden, an der ventralen Seite der Wirbelsäule liegen. Man nennt sie das sympathische Nervensystem oder auch den *Nervus sympathicus*. Die Ganglien des Sympathicus sind durch Faserzüge mit dem Rückenmark verbunden; andere von ihnen ausgehende Fasern mischen sich den aus Gehirn und Rückenmark entspringenden Nerven bei. Auch in diesen peripherischen Ausbreitungen finden sich zerstreute Ganglien eingelagert, besonders in den Eingeweiden; einzelne von ihnen sind von mikroskopischer Größe. Wir können daher sagen, dass auch bei Wirbeltieren Teile des Nervensystems sich in dem Zustand befinden, welchen man bei den Wirbellosen allein beobachtet.

7. Die peripherischen Nerven bestehen aus vielen feinen Fasern oder Fäden, welche zu Bündeln zusammengefasst sind und durch bindegewebige Scheiden zusammengehalten werden. Jede dieser Fasern, mit stärkeren Vergrößerungen untersucht, erweist sich aus folgenden Teilen zusammengesetzt (s. Fig. 115 S. 506): zuinnerst liegt ein aus noch feineren Fäserchen (Fibrillen) bestehender, ohne Unterbrechung durch den, zuweilen sehr langen, Nerven verlaufender Kern, der Achsencylinder oder Achsenband genannt wird; der Achsencylinder ist umgeben von der Markscheide, welche durch die sogenannten Ranvier'schen Einschnürungen in regelmäßigen Abständen unterbrochen wird (*r*); die zwischen zwei Einschnürungen enthaltenen Stücke der Markscheide sind durch Einkerbungen (*i*) in kleinere Segmente abgeteilt; außerdem sieht man zwischen je zwei Ranvier'schen Einschnürungen je einen Kern (*n*) und in seiner Nähe eine feinkörnige Masse (*p*). Das Ganze endlich ist umschlossen von einer glashellen, strukturlosen Membran, Schwann'sche Scheide oder Neurilemma genannt (*s*). In manchen Nerven ist die Markscheide sehr spärlich oder fehlt ganz; marklose Fasern reflektieren weniger Licht als markhaltige; sie werden deshalb im Gegensatz zu jenen, welche mehr weiß aussehen, graue Fasern genannt.

7. Nervenfasern und Nervenzellen.

Jede Nervenfaser hat ihren Ursprung in einer Nervenzelle. Bei einigen Nerven liegen diese Zellen in der Peripherie; es sind sogenannte Sinneszellen. Alle anderen nennen wir Nervenzellen im engeren Sinne. Am entgegengesetzten Ende geht jede Nervenfaser, nachdem sie ihre Scheiden verloren hat, durch Teilung des Achsencylinders in ein sogenanntes Endbäumchen über. Eine Nervenzelle mit Faser und Endbäumchen nennt man ein Neuron. Die Neurone legen sich aneinander, entweder mit ihren Endbäumchen, oder indem das Endbäumchen des einen Neurons die Zelle eines anderen Neurons umfasst. Aus den so entstehenden Neuronketten setzt sich das Nervensystem eines höheren Tieres zusammen, wie verwickelt auch der Bau desselben sein mag.

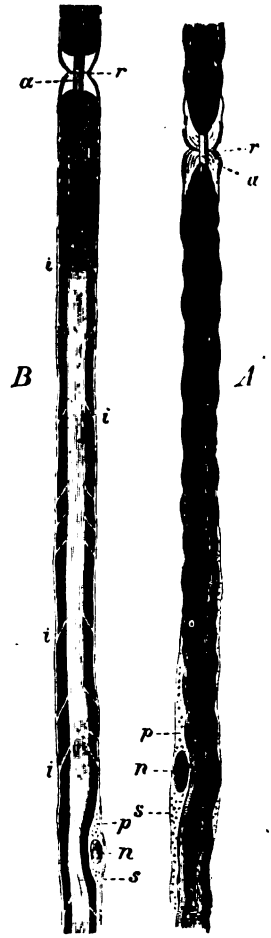


Fig. 115.

Nervenfasern. *a* Achsencylinder, *n* Kerne, *p* feinkörnige Masse um die Kerne, *r* RANVIER'sche Schnürringe, *i* Einkerbungen der Markscheide.

Die Nervenzellen sind verhältnismäßig große Zellen mit deutlichem Kern und Kernkörperchen. Ihre Formen sind sehr verschieden; einige sind fast kugelig, andere ellipsoidisch, die meisten unregelmäßig vieleckig. Sie haben einen oder zwei oder meistens noch mehr Ausläufer. In den Figuren 116 und 117 sind zwei verschiedene Formen solcher Zellen abgebildet. Die Mehrzahl der Ausläufer (Fig. 116,3) haben das gleiche Aussehen wie das Protoplasma der Zelle; sie sind feinkörnig, von verschiedener Dicke, teilen sich mehrfach und gehen schließlich in immer feinere Verzweigungen über, ähnlich den Verzweigungen eines Baumes. Man nennt sie Protoplasmafortsätze oder Dendriten. Ein Fortsatz (Fig. 116 und 117,2) dagegen ist glattrandig, durchsichtig, in der Längsrichtung fein gestreift, von gleichmäßigem Durchmesser. In einiger Entfernung von der Zelle erhält er meistens eine Mark-

scheide und wird dann zum Achsencylinder einer Nervenfaser. Man nennt ihn deshalb Achsencylinderfortsatz oder Neurit.

Hat die Nervenzelle nur einen Fortsatz, so ist es immer ein Neurit; sehr oft teilt sich dieser in geringer Entfernung von der Zelle in zwei Äste[1]).

Wir betrachten die Nervenfasern (die Neuriten) als sehr in die Länge gewachsene Teile der Nervenzellen; sie entstehen auch bei der

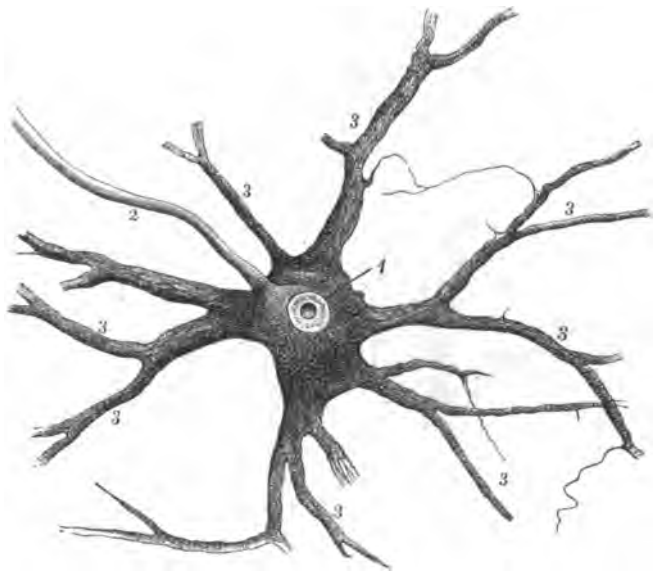


Fig. 116.

Nervenzelle aus der grauen Substanz des Rückenmarkes vom Rind.
1 Kern, 2 Achsencylinderfortsatz oder Neurit, 3 Protoplasmafortsätze oder Dendriten.

Entwicklung der Tiere als Auswüchse der Zelle. Nach Durchschneidung einer Nervenfaser stirbt der von der Zelle abgetrennte Teil ab, er degeneriert[2]). Werden die Nervenstümpfe in guter Berührung gehalten,

---

[1]) Zellen mit zwei Fortsätzen, welche beide Neuriten sind, kommen zuweilen in dem Verlauf eines peripheren Nerven vor. Auf die histologische Deutung der einzelnen Zellformen und der Fortsätze können wir hier nicht genauer eingehen.

[2]) Die Degeneration ist wahrscheinlich dadurch bedingt, dass der Kern der Nervenzelle nicht mehr auf die Erhaltung des normalen Stoffwechsels des Neuriten Einfluss üben kann (s. Kap. 18 § 3). Die Zellkerne, welche an den Nervenfasern sichtbar sind (Fig. 114 *n*), können diese Funktion nicht übernehmen,

so kann Wiederherstellung (Regeneration) eintreten, wahrscheinlich durch Auswachsen von dem mit der Zelle im Zusammenhang gebliebenen Stumpf her.

8. Motorische und sensible Nerven.

8. In den Nervenfasern ist der Achsencylinder der leitende Bestandteil. Die feine, in ihm sichtbare Streifung deutet darauf hin, dass er aus einer großen Zahl außerordentlich feiner Fibrillen zu-

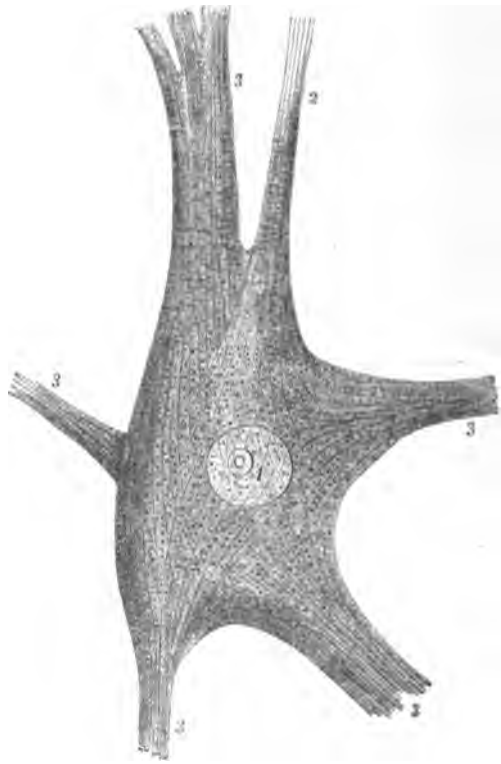


Fig. 117.

Nervenzelle aus der grauen Substanz des Rückenmarkes vom Kalb.
1 Kern, 2 Achsencylinderfortsatz oder Neurit, 3 Protoplasmafortsätze oder Dendriten.

sammengesetzt ist. Wenn sich der Achsencylinder in ein Endbäumchen auflöst, so kann jede der jetzt getrennt verlaufenden Fibrillen die Weiterleitung der von der ungeteilten Faser herkommenden Erregungen übernehmen, und ebenso kann jede Fibrille eine durch

---

denn sie gehören zu der Scheide. Wenn der Achsencylinder schon fertig gebildet ist, legen sich nachträglich die Scheidenzellen an ihn an, umwachsen ihn, bleiben aber funktionell von ihm gesondert.

Reizung in ihr entstandene Erregung zur Faser leiten, welche dann die weitere Fortpflanzung übernimmt. Der erstere Fall trifft u. a. bei denjenigen Nervenfasern zu, welche mit Muskeln zusammenhängen. Die mikroskopische Untersuchung quergestreifter Muskelfasern lehrt, dass das Neurilemma mit dem Sarkolemma verschmilzt, und dass der Achsencylinder mit seinem Endbäumchen sich unmittelbar an die kontraktile Substanz des Muskels anlegt. So ist der Kontakt der beiden erregbaren Substanzen hergestellt, welche für den Übergang der Erregung von der einen auf die andere notwendig ist. Ähnlich verhält es sich bei der Verbindung von Nerven mit glatten Muskelfasern und mit Drüsen.

Reizt man derartige Nerven, gleichgiltig ob sie noch mit den Nervenzellen, aus denen sie hervorgegangen sind, zusammenhängen oder von ihnen abgetrennt sind, so kann die in den Nervenfasern entstandene Erregung auf die Muskeln oder Drüsen übergehen und in diesen Kontraktion oder Sekretion hervorrufen. Nerven dieser Art werden deshalb motorische bzw. sekretorische genannt. In beiden Fällen liegen die Organe, auf welche die Erregung übertragen wird, an der Peripherie; die Erregung muss, um ihre Wirkung zu entfalten, nach der Peripherie, vom Centrum fort, geleitet werden. Man nennt sie deshalb auch centrifugalleitende Nerven.

Reizt man dagegen Fasern, deren periphere Enden in der Haut oder in den eigentlichen Sinnesorganen gelegen sind, so kann unter gewissen Umständen auch Muskelkontraktion oder Drüsensekretion infolge der Reizung auftreten. Das geschieht aber nur dann, wenn die gereizten Nerven noch mit den Centralorganen und diese durch centrifugalleitende Fasern mit Muskeln oder Drüsen verbunden sind. Die Wirkung erfolgt also auf Umwegen, nicht unmittelbar auf die Muskeln und Drüsen, wie bei den centrifugalleitenden Nerven. Auf diese Erscheinung werden wir noch zurückkommen.

Die Erregung kann aber außerdem nach ihrem Eintritt in das Centralorgan die Wirkung haben, dass Empfindungen zum Bewusstsein kommen. Wir nennen deshalb diese Nerven sensible oder Empfindungsnerven und, da die Erregung, um einen Erfolg zu haben, nach dem Centrum hin geleitet werden muss, centripetalleitende Nerven.

Die mikroskopische Untersuchung weist keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Arten von Nervenfasern nach; auch sonst erweisen sie sich als vollkommen gleichartig, insbesondere verhalten sie sich gegen alle Arten von Reizen ganz gleich. Endlich ist durch Beobachtung der mit der Erregung verbundenen elektrischen Er-

scheinungen nachgewiesen worden, dass die Erregung in beiden Arten von Nerven doppelsinnig, d. h. sowohl in der Richtung nach der Peripherie wie nach dem Centrum hin fortgeleitet wird. Wenn also die Wirkungen, welche bei der Erregung dieser Nerven auftreten, verschieden sind, so kann dies nicht in einer Verschiedenheit der Fasern liegen.

Es ist leicht einzusehen, dass die Erregung sensibler Nerven direkt keine Muskelkontraktion oder Drüsensekretion hervorrufen kann, da jene Nerven an der Peripherie nicht mit Muskeln oder Drüsen verbunden sind. Schwerer zu verstehen ist es, warum nicht auch bei Reizung der centrifugalleitenden Nerven Empfindungen auftreten. Durch Erfahrungen an Tieren, namentlich aber auch durch solche an Menschen, besonders in Krankheitsfällen, ist mit Bestimmtheit festgestellt worden, dass der Vorgang der Empfindung nicht durch die Nervenfasern, sondern ausschließlich durch Elemente der nervösen Centralorgane vermittelt werden kann. Die Untersuchung dieser Organe führt uns weiter zu der Überzeugung, dass wir in ihnen verschiedenartige Elemente mit voneinander abweichenden Eigenschaften unterscheiden müssen, und dass von diesen die einen mit den sensiblen, die anderen mit den motorischen Nerven in Zusammenhang stehen.

Es liegt außerhalb des Rahmens dieses Buches, genauer auf den Bau der nervösen Centralorgane einzugehen. Derselbe ist bei den höheren Tieren ein so verwickelter, dass wir uns begnügen müssen, die Hauptpunkte, auf welche es ankommt, anzudeuten. Unsere Kenntnisse von dem Bau der nervösen Centralorgane sind durch die neuesten Fortschritte der mikroskopischen Technik sehr gefördert worden. Daneben hat besonders die Vergleichung mit den einfacheren Organen der niederen Tiere sowie das Studium der Entwicklung des Nervensystems und der Degenerationserscheinungen nach Verletzungen viel zur Aufklärung beigetragen. Als Ergebnis aller dieser Untersuchungen ist die Lehre von dem Aufbau des Nervensystems aus Neuronen, welche sich zu Neuronketten aneinanderlegen, für das Verständnis der physiologischen Erscheinungen wertvoll geworden. Wir legen deshalb, trotz der von einzelnen Forschern gegen die Neuronlehre erhobenen Einsprüche, dieselbe den nachfolgenden Erörterungen zu Grunde.

9. Neuronketten.

9. Als einfachstes Schema eines Nervensystems, wie es bei vielen niederen Tieren vorkommt, können wir das in Fig. 118, S. 511 dargestellte ansehen. Aus einer in der Haut liegenden Sinneszelle geht ein Neurit hervor, dessen Endbäumchen eine Nervenzelle umspinnt. Der aus dieser Nervenzelle hervorgehende Neurit endet mit seinem Endbäumchen in einer Muskelfaser. Wir wollen deshalb diese letztere Nervenzelle eine motorische nennen. Verbindungen

dieser Art kommen auch in den Nervensystemen der höheren Tiere, welche verwickelter gebaut sind, vor. Neben ihnen besteht aber noch eine zweite Art des Zusammenhanges zwischen den Neuronen, indem die Endbäumchen zweier Neurone sich miteinander verbinden. In beiden Fällen vermag eine Erregung von dem einen Neuron auf das andere überzugehen. Dadurch erhält die kettenförmige Anordnung der Neurone eine wichtige physiologische Bedeutung.[1])

Üben wir auf die Sinneszelle 1 einen Reiz aus, etwa durch einen Nadelstich oder dergleichen, so sehen wir im Muskel (7) eine Kontraktion auftreten. Die durch den Reiz hervorgerufene Erregung muss also durch den Neuriten (2) und sein Endbäumchen (3) zur motorischen Nervenzelle (4) gelangt sein und ist dort, durch Vermittelung der Zelle, auf den Neuriten (5) übertragen worden, welcher sie zum Muskel fortgeleitet hat. Eine solche mittelbare Erregung einer centrifugalleitenden Faser von einer centripetalleitenden her nennen wir einen Reflex. Wenn, wie in unserem Falle, die Erregung von dem sensiblen Nerven auf einen motorischen übertragen wird, so entsteht eine Reflexbewegung. Es kann aber auch die Übertragung auf einen sekretorischen Nerven erfolgen; dann haben wir eine Reflexsekretion. Das Wesentliche ist in beiden Fällen, dass die Erregung von einer centripetalleitenden (sensiblen) Faser auf eine centrifugalleitende (motorische oder sekretorische) übertragen worden ist.

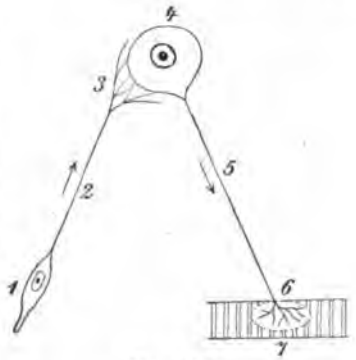


Fig. 118.

Schema eines einfachen Nervensystems. 1 Sinneszelle, 2 Neurit, 3 Endbäumchen, 4 motorische Nervenzelle, 5 ihr Neurit, 6 dessen Endbäumchen, 7 Muskel.

Ob bei dem Versuch an einem Tier mit so einfachem Nervensystem durch die Reizung der sensiblen Fasern außer der Reflexübertragung noch etwas anderes eingetreten ist, können wir nicht ausmachen. Aus eigner Erfahrung wissen wir ja, dass in Fällen der Reizung sensibler Fasern oder der Sinneszellen, aus denen jene

[1]) In der Figur sind die Protoplasmafortsätze der Nervenzelle fortgelassen. Man muss sich vorstellen, dass zwischen ihnen und dem Endbäumchen des anderen Neuriten protoplasmatische Verbindungen bestehen. Diese Verbindungen und ebenso die zwischen zwei Endbäumchen können zwar bei höheren Tieren nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Sie sind aber eine physiologische Notwendigkeit und müssen daher, wenn auch vorläufig nur hypothetisch, als stets vorhanden angenommen werden.

entspringen, bewusste Empfindungen entstehen. Es bleibt aber unbekannt, ob dasselbe auch bei jenen Tieren der Fall ist, ebenso ob alle Bewegungen, welche wir an ihnen beobachten, auf die beschriebene Art zu stande kommen, also Reflexe sind, oder ob Bewegungen auch ohne von außen her einwirkende Reize entstehen können.

Dass auch bei höheren Tieren, deren Nervensystem einen mehr verwickelten Bau hat, Reflexe vorkommen, wurde schon gesagt. Bei ihnen bestehen neben den Verbindungen zwischen den sensiblen Fasern und den motorischen Nervenzellen noch Verbindungen höherer Ordnung, welche gleichfalls aus Neuronen zusammengesetzt sind. Bei Wirbeltieren sind die von uns bisher allein betrachteten direkten Verbindungen sensibler Fasern und motorischer Nervenzellen sehr reichlich im Rückenmark vorhanden. Außerdem gehen von diesem zum Gehirn Neuronketten höherer Ordnung. Versuchen wir diese verwickelten Leitungsbahnen auf ein möglichst einfaches Schema zurückzuführen, so gestaltet sich dasselbe etwa so, wie es in Fig. 119 dargestellt ist. Die Zellen 5 und 11 liegen im Rückenmark, die Zellen 7 und 9 dagegen im Gehirn. Speziell für die höheren Wirbeltiere und besonders für den Menschen ist es durch Versuche und Erfahrungen an Kranken sicher gestellt, dass nur im Gehirn, und ganz besonders in den zahlreichen Zellen der grauen Hirnrinde, welche wie ein Mantel das aus Nervenfasern gebildete und darum weiß aussehende Innere des Gehirns umhüllt, jene Vorgänge zu stande kommen, welche mit Bewusstseinszuständen verknüpft sind. Wenn diese Zellen fehlen oder die Verbindungen zu ihnen, etwa durch einen Schnitt, der die Neuriten 6 und 10 durchtrennt, abgeschnitten sind, so kann eine durch Reizung der Sinneszelle 1 entstandene Erregung auf dem Wege 2, 3 zur motorischen Zelle 11 und von

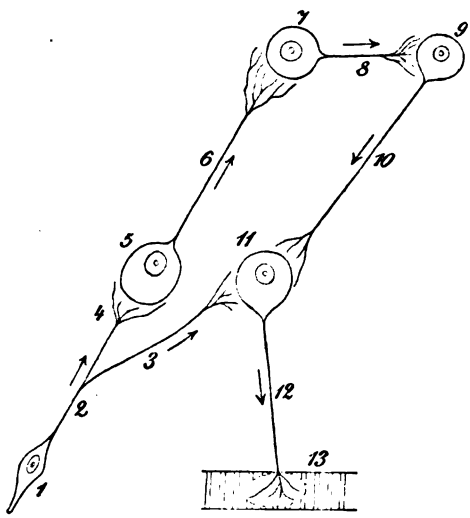


Fig. 119.

Schema eines verwickelteren Nervensystems. 1 Sinneszelle, 2 Neurit, der sich in zwei Äste 3 und 4 spaltet; 5 Nervenzelle des Rückenmarks, 6 deren Neurit; 7 und 9 Nervenzellen des Gehirns; 11 motorische Zelle des Rückenmarks, 12 deren Neurit; 13 Muskel.

da zum Muskel gelangen. Wir haben dann eine reine Reflexbewegung. Sind aber alle Zellen und ihre Verbindungen erhalten und in gutem Zustand, dann kann die Erregung auch auf dem Wege 5, 6, 7 zur Hirnrinde geleitet werden und dort eine bewusste Empfindung veranlassen, oder es kann eine auf unbekannte Weise in der Zelle 9 entstandene Erregung im Muskel 13 eine Bewegung hervorrufen, welche, je nachdem sie mit dem Bewusstseinsvorgang, welchen wir Wille nennen, verknüpft ist oder nicht, eine willkürliche oder eine unwillkürliche heißt. Hiervon wird in § 12 weiter die Rede sein.

10. Spezifische Energieen.

10. Die an verschiedenen Stellen der Peripherie liegenden Nervenendapparate sind nicht gegen alle Arten von Reizen gleich empfindlich. Die in der Haut liegenden werden durch Druck, Wärme, Kälte erregt, diejenigen des Auges durch Licht. Sie unterscheiden sich dadurch wesentlich von den aus ihnen entspringenden Nervenfasern. Letztere können durch Licht oder durch konstanten Druck überhaupt nicht erregt werden, wohl aber durch starke und plötzliche Druckschwankungen. Ähnliches gilt von den anderen auf die verschiedenen Endorgane der Nerven wirkenden Reizen. Die mit den peripheren Anfängen der sensiblen Nerven verbundenen Organe sind also für spezifische Reize eingerichtet. Jedes von ihnen wird durch eine besondere Art von Einwirkung erregt und überträgt die Erregung auf die Nervenfasern. Wir nennen sie daher Aufnahmeorgane.

Von dem Bau und der Einrichtung des Aufnahmeorgans hängt es ab, durch welche Art von Reizen es erregt werden kann. Ein von undurchsichtigen Medien bedecktes Organ kann selbstverständlich nicht durch Licht erregt werden, da dieses nicht zu ihm gelangt. Aber selbst wenn ein solches äußerliches Hindernis nicht vorhanden ist, muss noch das für den Lichtreiz bestimmte Aufnahmeorgan vermöge seines Baues geeignet sein, durch Ätherschwingungen von bestimmter Wellenlänge erregt zu werden. Mustern wir die uns bekannten Thatsachen, so zeigt sich Folgendes: Die Mehrzahl der Aufnahmeorgane ist nur durch ganz bestimmte Arten von Einwirkungen erregbar. Dagegen können alle von den Aufnahmeorganen zum Centralnervensystem ziehenden Nerven durch die gewöhnlichen Nervenreize erregt werden, falls sie denselben zugänglich sind. Wie aber auch immer die Erregung zu stande kommen mag, ob durch den spezifischen Reiz vom Aufnahmeorgan her oder durch irgend einen, unmittelbar auf die Nerven einwirkenden Reiz, die Erregung eines jeden Nerven hat immer eine ganz bestimmte, nur durch diesen Nerven hervorzurufende Wirkung zur Folge. Jede Erregung der Sehnerven veranlasst Lichtempfindung, jede Erregung der Hörnerven Schallempfin-

dung u. s. w. Man sagt deshalb, dass jedem dieser Nerven eine spezifische Energie zukomme.

Aus der Thatsache, dass elektrische oder mechanische Reizung der Sehnerven stets Lichtempfindung veranlasst, dass dieselben Reize aber, wenn sie auf die Hörnerven wirken, Schallempfindungen hervorrufen, folgt, dass es nicht Ätherschwingungen sein können, welche durch den Sehnerven und nicht Schallschwingungen, welche durch den Hörnerven zum Gehirn geleitet werden. Es kann vielmehr nur das, was wir Erregung genannt haben, zum Gehirn gelangen, gleichgiltig ob diese Erregung durch jene auf die Nervenfasern selbst einwirkenden Reize hervorgerufen wird, oder von den Aufnahmeorganen her durch die spezifischen Reize, gegen welche diese empfänglich sind. Der Vorgang der Erregung selbst muss aber in allen Nervenfasern derselbe sein. Wir kennen Verschiedenheiten in dieser Hinsicht ebensowenig, wie wir Unterschiede in dem histologischen Bau oder in sonst einer Eigenschaft verschiedener Nervenfasern kennen. Sind aber alle Nervenfasern untereinander gleich und können sie alle nur einen und denselben Vorgang, das, was wir Erregung nennen, fortleiten, gleichgiltig, wodurch diese Erregung entstanden ist, dann können die verschiedenen Bewusstseinszustände, welche schließlich durch sie hervorgerufen werden, nur auf Verschiedenheiten derjenigen Apparate beruhen, auf welche die Erregungen übertragen werden. Wir nehmen deshalb an, dass jede Zelle der Großhirnrinde, in welcher eine bewusste Empfindung entstehen kann, wenn ihr von den mit ihr verbundenen Nervenfasern eine Erregung zugeleitet wird, in einen Zustand der Thätigkeit gerät, welche nur eine ganz bestimmte Art von Bewusstseinszustand veranlasst. Die Erregungen der einen haben die Empfindung von Licht zur Folge, die der anderen die Empfindung von Schall u. s. w.

Diese Annahme wird wesentlich gestützt durch die Erfahrungen, welche man bei Versuchen an höheren Tieren und durch Beobachtungen an Menschen bei örtlich begrenzten Erkrankungen des Gehirns gewonnen hat. Die einander ähnlichen Zellen, d. h. solche, welche gleichartige Empfindungen veranlassen, liegen auch räumlich zusammen. Bei Erkrankungen des Großhirns, welche auf bestimmte Stellen beschränkt bleiben, treten Störungen nur in bestimmten Arten von Empfindungen auf. Mit diesen Erfahrungen sind die durch Tierversuche gewonnenen in Einklang. Abtragung der Hirnrinde am Hinterlappen des Großhirns hat z. B. Verlust des Sehvermögens zur Folge, Abtragung der Hirnrinde am Schläfenlappen Störungen des Hörvermögens; ganz dieselben Störungen wurden bei krankhaften Veränderungen der entsprechenden Stellen der Hirnrinde an Menschen beobachtet.

Neben den großen Unterschieden zwischen den Zellen, in denen Lichtempfindungen, und anderen, in welchen Schallempfindungen zu stande kommen, muss es noch kleinere Unterschiede zwischen den Zellen einer und derselben Gattung geben, welche den Abarten einer und derselben Empfindungsqualität entsprechen. So können wir die Unterschiede der Farbenempfindung innerhalb der Lichtempfindung, der Tonhöhe innerhalb der Schallempfindung u. s. w. deuten. Bei einigen Empfindungen, insbesondere bei den Licht- und den Gefühlsempfindungen kommen dazu noch Unterschiede, welche auf den Ort, wo die die Erregung hervorrufenden äußeren Reize einwirken, bezogen werden. Durch sie sind wir imstande, zwei sonst einander gleiche Eindrücke, z. B. Nadelstiche, zu unterscheiden, wenn sie einmal an der Schulter, das andere mal an der Wange eingewirkt haben[1]).

Über die physischen Vorgänge in den Hirnrindenzellen, welche das Entstehen von Empfindungen begleiten, vermögen wir nichts auszusagen. Nur die Empfindungen selbst sind uns aus der eigenen Erfahrung bekannt. Diese Empfindungen haben keine Ähnlichkeit mit den physikalischen und chemischen Vorgängen, welche als Reize auf die peripheren Nervenendigungen wirken und dadurch in letzter Linie zu jenen Empfindungen Anlass geben. Man darf sich nicht dadurch täuschen lassen, dass wir für beide dieselben Namen gebrauchen. Was auf die Nervenapparate der Netzhaut im Auge wirkt, sind Schwingungen des Äthers; was durch sie im Nervensystem ausgelöst wird, sind Erregungen von der Art, wie sie dem Nervensystem eigentümlich sind. Diese führen in den mit den Sehnerven zusammenhängenden Zellen der Hirnrinde zu Lichtempfindungen. Wenn wir deshalb die Vorgänge im Äther auch Licht nennen, so soll damit keineswegs gesagt sein, dass sie in ihrem Wesen etwa jenen Vorgängen in den Nervenzellen gleichen, in denen die Lichtempfindungen zu stande kommen. Dass dies nicht der Fall sein kann, geht schon daraus hervor, dass dieselben Ätherschwingungen, wenn sie unsere Haut treffen, eine ganz andere Empfindung, die der Wärme, hervorrufen. Ähnlich ist es mit den akustischen Schwingungen. Wenn sie durch Vermittelung der Luft oder durch die Kopfknochen auf unsere Hörnerven wirken, erregen sie in uns Schallempfindungen; wenn sie auf unsere Hautnerven übertragen werden, entsteht eine Empfindung ganz anderer Art, die des Kitzels. Von den Ätherschwingungen und den Schwingungen einer Stimmgabel haben wir ganz bestimmte Vorstellungen. Welcher Art die materiellen Vorgänge in den Zellen unserer Hirnrinde sind, wissen wir nicht. Noch weniger können

[1]) Die Hypothese setzt eine sehr große Zahl von Nervenzellen in der Hirnrinde voraus. Damit sind die mikroskopischen Befunde in Übereinstimmung; die angenommene physiologische Verschiedenheit können wir freilich nicht sehen.

wir uns eine Vorstellung davon machen, wie diese materiellen Vorgänge zu der ganz eigenartigen Erscheinung der bewussten Empfindungen führen. Wir kennen diese Empfindungen selbst sehr genau. Sie sind ja das Einzige, von dem wir unmittelbare Kunde haben. Alles Andre, was wir über die Vorgänge der Außenwelt zu wissen glauben, sind nur Folgerungen aus jenen Empfindungen (vgl. Kap. 1 u. 2). Da wir aus vielfachen Erfahrungen gelernt haben, dass gewisse Empfindungen immer auftreten, wenn wir aus dem Vorhandensein von allerlei Umständen schließen dürfen, dass es sich um bestimmte Vorgänge in der Außenwelt handelt, so haben wir uns gewöhnt, diese Vorgänge mit demselben Namen wie die durch sie veranlassten Empfindungen zu benennen.

Wir wissen auch, dass unter besonderen Umständen die sonst so sichere Übereinstimmung zwischen unseren Empfindungen und den Vorgängen der Außenwelt nicht vorhanden ist. Die Erregung der sensiblen Nerven kann durch ungewöhnliche Vorgänge oder durch Reize veranlasst sein, welche an irgend einer Stelle auf die Nervenfasern einwirken. Die Erregung der Nervenzellen kann auch durch innere Ursachen, Beschaffenheit des Blutes oder dergleichen, zu stande kommen, ohne dass eine Erregung durch die Nerven zugeleitet worden ist. Dann entstehen subjektive Empfindungen, welchen nicht in der uns geläufigen Weise Vorgänge in der Außenwelt entsprechen. So entsteht das große Gebiet der Sinnestäuschungen, der Illusionen und Hallucinationen, welche wir nur unvollkommen von den gewöhnlichen Empfindungen unterscheiden können, weil die letzten Vorgänge in den Nervenzellen der Hirnrinde dabei die gleichen sind wie bei den auf gewöhnliche Art zu stande kommenden Sinnesempfindungen.

Die Erörterungen über Empfindungen stützen sich auf Selbstbeobachtungen. Sie haben daher zunächst nur für das beobachtende Individuum Geltung. Sie dürfen nur mit großer Vorsicht auf andere Lebewesen übertragen werden. Ob ein anderer Mensch beim Anblick einer Blume, deren Farbe wir Rot nennen, die gleiche Empfindung hat wie wir, lässt sich gar nicht feststellen.[1]) Wohl aber dürfen wir behaupten, dass gewisse Empfindungen wahrscheinlich in ganz ähnlicher Weise wie bei uns auch bei anderen Menschen und in gewisser Weise auch bei höheren Tieren zu stande

[1]) Auch der Umstand, dass er die Blumenfarbe gleichfalls rot nennt, beweist nicht, dass er dieselbe Empfindung hat wie wir. Er hat sich ebenso daran gewöhnt, die Empfindung, welche er unter diesen bestimmten Umständen hat, mit dem Namen „rot“ zu bezeichnen, wie wir uns gewöhnt haben, unsere in diesen Fällen auftretende Empfindung so zu nennen. Bei Farbenblinden sind die Empfindungen sicherlich andre als bei den mit gewöhnlichem Farbensinn begabten Menschen und dennoch gebrauchen beide dieselben Namen.

kommen. Wir können feststellen, ob ein Hund sieht oder blind ist; wenn er auf einen fortgeworfenen Gegenstand geraden Wegs zuläuft und ihn erfasst, so dürfen wir annehmen, dass er ihn auf ähnliche Weise sieht wie wir. Es liegt jedoch außerhalb der Grenzen physiologischer Forschung, festzustellen, ob seine Empfindungen den unsrigen in demselben Falle ganz und gar gleichen, weil es kein Mittel giebt, darüber etwas Bestimmtes zu erfahren. Noch viel müßiger sind Spekulationen darüber, ob niedere Tiere oder gar Pflanzen auch Empfindungen haben, welche den unsrigen ähnlich sind. Die nachfolgenden Bemerkungen über Sinneserscheinungen bei anderen Lebewesen sind deshalb immer nur mit dem Vorbehalt zu verstehen, dass wir nichts über die Empfindungen selbst aussagen, sondern nur die Erscheinungen, soweit sie uns bekannt sind, beschreiben wollen.

11. Sinnesorgane.

11. Die Endigungen der sensiblen Nerven liegen häufig zwischen oder unter den die Oberfläche der Körperhaut oder die Schleimhäute bedeckenden Epithelzellen (vgl. Kap. 13 § 11). Sind letztere mit den Nerven verbunden, so werden sie Neuroepithelien genannt. Häufig bestehen noch besondere Einrichtungen zur Aufnahme bestimmter und zur Abhaltung anderer Arten von Reizen. Dadurch werden die Aufnahmeapparate der Reize zu echten Sinnesorganen. Bei den höheren Tieren haben diese Organe so charakteristische Einrichtungen, dass wir über ihre Bedeutung als Aufnahmeapparate für bestimmte Arten von Reizen nicht zweifelhaft sein können. Die ausgebildeten Einrichtungen für die Brechung der Lichtstrahlen beim Auge, für die Schallleitung beim Ohr lassen es sofort erkennen, dass es sich in dem einen Falle um ein Aufnahmeorgan für Lichtreize, im anderen Falle um ein solches für Schallreize handelt. Kehren dieselben Einrichtungen bei anderen Lebewesen wieder, so sind wir berechtigt anzunehmen, dass sie durch dieselben Reize wie beim Menschen erregt werden. Treffen wir auf Sinnesapparate, welche von den unsrigen abweichen, dann können wir auf experimentellem Wege feststellen, ob und durch welche Arten von Reizen sie erregt werden können, werden uns aber jedes Urteils darüber enthalten müssen, welcher Art etwa die durch diese Reize hervorgerufenen Empfindungen sein könnten.

Es liegt nahe anzunehmen, dass der Vorgang der allmählichen Differenzierung, welchen wir bei anderen Organen kennen gelernt haben, auch auf die Ausbildung von Sinnesorganen Einfluss gehabt hat. Wenn die Eigenschaft der Reizbarkeit ursprünglich allem Protoplasma zukommt und in den Sinneszellen zu einem höheren Grade entwickelt ist, dann kann die Differenzierung dahin geführt haben, dass die eine Sinneszelle mehr durch mechanische Reize

(Druck, Zug u. s. w.), die andere durch chemische (Geschmack und Geruch), wieder andere durch mechanische Erschütterung (Gehör), endlich andere durch Ätherschwingungen (Gesicht) erregbar geworden ist. Diese besonders von HERBERT SPENCER entwickelte Vorstellung hat gewiss vieles für sich. Leider lässt sich aber aus ihr nichts ableiten, was empirischer Prüfung zugänglich wäre. Doch können wir in Übereinstimmung mit ihr es als sehr wahrscheinlich betrachten, dass es bei manchen Organismen auch Sinneszellen geben kann, bei denen diese Differenzierung noch gar nicht oder doch nur in geringem Maße eingetreten ist, welche also noch durch verschiedene Arten von Reizen nahezu gleichmäßig erregt werden können, wie es in der That der Fall zu sein scheint.

Damit die verschiedenen Arten von Reizen auch voneinander verschiedene Arten von Empfindungen hervorrufen, muss zu der Differenzierung der Sinneszellen noch eine Differenzierung der empfindenden Nervenzellen im Centralorgan hinzugekommen sein. Über diese können wir, wie schon wiederholt hervorgehoben wurde, soweit es sich um unsere eigenen Empfindungen handelt, auf dem Wege der Selbstbeobachtung etwas erfahren. Für andere Lebewesen sind wir auf Vermutungen angewiesen, welche um so unbestimmter sind, je abweichender die Lebensverhältnisse derselben von den unsrigen sind.

Die übliche Einteilung der Empfindungen in die der fünf Sinne hält schon beim Menschen einer genaueren Untersuchung nicht stand. In dem sogenannten Gefühlssinn z. B. sind sicher mehrere Arten von Empfindungen nur darum zusammengefasst, weil die zur Aufnahme der Reize bestimmten Organe nebeneinander in der Haut liegen. Innerhalb einer und derselben Empfindungsart können wir Unterschiede der Empfindungsstärke wahrnehmen, aber auch Unterarten der Qualität. Im Gebiete des Gesichtssinns sind solche die verschiedenen Farbenempfindungen, im Gebiete des Gehörssinns die Empfindungen verschiedener Tonhöhen. Wenn wir die Farbenempfindungen einerseits und die Tonempfindungen andererseits als Abarten einer und derselben Empfindungsqualität, der Lichtempfindung oder der Schallempfindung, betrachten, so liegt der Grund hierfür darin, dass diese Empfindungen ineinander übergehen können. Von der Empfindung Blau können wir durch allmähliche Übergänge zur Empfindung Grün gelangeu, ebenso von der Empfindung eines Tons von bestimmter Höhe zu der seiner Terz oder Quinte. Niemals aber vermögen wir von der Empfindung eines Drucks durch irgendwelche Zwischenstufen zu einer Wärmeempfindung zu gelangen. Druckempfindung und Wärmeempfindung sind also nicht Unterarten einer und derselben Empfindungsqualität,

sondern sind gerade so verschiedene Empfindungsqualitäten wie Schallempfindung und Lichtempfindung.

Lehrt uns so die Erfahrung, wie misslich es ist, aus der anatomischen Anordnung der Sinnesorgane allein Schlüsse auf die Art der durch dieselben veranlassten Empfindungen zu ziehen, so werden wir uns um so mehr hüten, voreilige Annahmen über Empfindungen bei anderen Lebewesen zu machen. Es kann sehr wohl sein, dass manche von ihnen „Sinne" haben, die uns fehlen. Welcher Art die durch solche Sinne vermittelten Empfindungen sein mögen, können wir ebensowenig ahnen, wie ein Blinder eine Vorstellung von dem erlangen kann, was wir Lichtempfindung nennen. Ich gehe deshalb auf die bei verschiedenen Lebewesen vermuteten Sinnesorgane besonderer Art (z. B. die sogenannten Seitenorgane der Fische) nicht weiter ein, weil es an jedem Anhalt fehlt, etwas Physiologisches über sie auszusagen. Wohl aber lässt sich durch Versuche feststellen, ob ein Lebewesen durch eine bestimmte Art von Reizen erregt werden kann, vorausgesetzt dass es auf den Reiz in erkennbarer Weise reagiert. So lehren z. B. die in § 4 mitgeteilten Erscheinungen der Phototaxis, dass viele Lebewesen durch Lichtstrahlen erregbar sind. Zuweilen ist die Lichtempfindlichkeit auf der ganzen Körperoberfläche gleichmäßig vorhanden, häufig aber auf bestimmte Stellen beschränkt. Dann müssen an diesen Stellen Aufnahmeorgane vorhanden sein, welche durch Differenzierung einen besonderen Grad von Reizbarkeit durch Ätherschwingungen bestimmter Wellenlängen erlangt haben, während die an anderen Stellen gelegenen Organe diese Erregbarkeit nicht besitzen, aber auf andere Weise, z. B. mechanisch, erregbar sein können.[1]) Durch Licht erregbare Stellen sind in der Regel leicht erkennbar an der Anhäufung schwarzen oder farbigen Pigments, welches, hinter den Nervenapparaten gelegen, das durch dieselben gegangene Licht absorbiert und dadurch wahrscheinlich die Wirkung auf die Endorgane verstärkt. Die in § 4 erwähnte *Euglena* z. B. hat nahe ihrem vorderen, geißeltragenden Ende einen kleinen runden Pigmentfleck, welcher allein lichtempfindlich ist; wird der hintere, mit Chlorophyll gefüllte Teil des Körpers allein vom Licht getroffen, so hat das keinen Einfluss auf die Richtung und Bewegung der Euglenen.

---

[1]) Bei den Protisten haben wir es nicht mit eigentlichen Organen zu thun, sondern nur mit der Erregbarkeit des allgemeinen Protoplasmas. Ist aber die spezifische Erregbarkeit für eine besondere Art von Reizung an eine bestimmte Leibesstelle gebunden, wie bei der gleich zu erwähnenden *Euglena*, dann ist diese Stelle ein Zellorgan von der Art derjenigen, welche in Kap. 13, § 6 ff. besprochen sind.

Ähnliche Pigmentflecke finden sich bei vielen niederen Lebewesen. Sie sind immer lichtempfindlich, erinnern also an Augen; man nennt sie daher Ocellen. Noch größer wird die Ähnlichkeit mit Augen, wenn echte Nervenendigungen, in denen oder hinter denen Pigment abgelagert ist, durch Nervenfasern mit Nervenzellen in Verbindung stehen, während vor ihnen die Cuticula eine Art von Linse bildet, welche einfallendes Licht auf die Sinneszellen konzentriert, wie es z. B. bei Medusen der Fall ist. Trotzdem darf man auch diese Gebilde nicht Augen nennen und darf nicht behaupten, dass die Tiere mit ihnen sehen. Wenn aber die Nervenendigungen mit ihrem Pigment in einer vertieften Grube liegen, in welche das Licht nur durch eine enge Öffnung fallen kann, so entstehen auf dem Hintergrunde Bilder äußerer Gegenstände. So beschaffen ist z. B. das Auge des zu den Cephalopoden gehörigen Nautilus (Fig. 120). Eine Linse oder sonstiger lichtbrechender Apparat fehlt gänzlich, während der nervöse Apparat schon eine an die hochentwickelten Augen der höheren Tiere erinnernde Differenzierung aufweist. Auffallend ist, dass die Augen anderer Cephalopoden, z. B. der Tintenfische, in ihrem Bau viel mehr mit denjenigen der Wirbeltiere übereinstimmen.

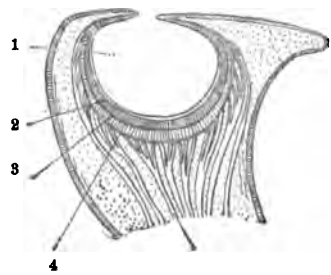


Fig. 120.
Einfaches Auge des Nautilus. 1 Augenhöhle, 2 Stäbchenschicht, 3 Sehzellenschicht, 4 Nervenzellenschicht.

Wir dürfen vermuten, dass ein so eingerichteter Apparat nicht nur zur Wahrnehmung von Objekten der Außenwelt, sondern auch zur Erkennung ihrer Formen dienen kann und dürfen ihn ein, wenn auch sehr einfaches, Auge nennen. Von diesen zu den vollkommeneren Augen höherer Tiere giebt es allmähliche Übergänge.

12. Willkürliche und automatische Bewegungen.

12. Außer den durch Erregung der Sinnesnerven entstehenden Bewusstseinszuständen der Empfindung und ihren Folgen, den Vorstellungen, kennen wir noch einen anderen Bewusstseinszustand, welchen wir Willen nennen. Wir haben die Vorstellung, dass wir ohne äußere Einwirkung infolge eines in unserem Innern entstehenden Vorgangs imstande sind zu handeln, z. B. Bewegungen unserer Muskeln zu veranlassen. Es ist das vielleicht eine Täuschung. Solche Handlungen haben vielleicht immer ihren Ursprung in einem von außen kommenden Reiz, der nur nicht als Folge einer äußeren Einwirkung zum Bewusstsein kommt. Wie dem auch sein mag, soviel steht jedenfalls fest, dass solche nach unserer, wahren oder falschen, Meinung selbständig entstandene Handlungen

gleichfalls an die unversehrte Beschaffenheit der Hirnrinde gebunden sind. Bei Menschen, deren Hirnrinde infolge von Erkrankung Schaden gelitten hat, treten Handlungen, welche den von uns ausgeführten sogenannten Willensthätigkeiten ähnlich sind, nicht auf. Wir können deshalb annehmen, dass diese Erregungen ebenso wie diejenigen, welche zu bewussten Empfindungen Anlass geben, in den Nervenzellen der Hirnrinde zu stande kommen.

Neben den verschiedenen Zellen, in welchen die einzelnen Empfindungsarten entstehen, muss es andere geben, in denen die motorische Erregung entsteht. In dem Schema Fig. 119 auf S. 512 würden die ersteren durch No. 7, die zweiten durch No. 9 dargestellt sein. Für die Richtigkeit dieser Auffassung können wir die Thatsache anführen, dass man durch künstliche Reizung bestimmter Stellen der Hirnrinde isolierte Bewegungen einzelner Muskelgruppen hervorrufen kann, während die Reizung solcher Stellen, an denen Zellen liegen, welche die Empfindung vermitteln, niemals Bewegungen hervorrufen. Ebenso haben begrenzte Erkrankungen an solchen „motorischen Feldern" der Hirnrinde bestimmte Störungen in einzelnen Muskelgruppen zur Folge.

Wir schreiben anderen Menschen und in gewissem Sinne auch höheren Tieren, deren Centralnervensystem mit dem unsrigen Ähnlichkeit hat, gleichfalls „Willen" zu, indem wir die aus unserer eigenen Bewusstseinserfahrung gewonnenen Vorstellungen durch Analogie auf sie übertragen. Dass wir solche Annahmen nur mit der größten Vorsicht machen dürfen, haben wir schon wiederholt betont. Insbesondere dürfen wir niederen Tieren oder gar Pflanzen, welche kein unserem Nervensystem ähnliches Organ besitzen, ähnliche psychische Vorgänge nur mit dem ausdrücklichen Vorbehalt zuschreiben, dass es sich dabei um unbeweisbare Annahmen handelt.

Neben den mit Bewusstseinsvorgängen verknüpften Erregungen kommen auch unbewusste vor. Da dieselben fast ausschließlich als Bewegungen auftreten, wollen wir nur von diesen sprechen, sehen also von anderen Leistungen, die vom Nervensystem aus angeregt werden, ab. Wir können demnach willkürliche und unwillkürliche Bewegungen unterscheiden. Zu den letzteren gehören auch die Reflexbewegungen, von denen schon im § 9 die Rede war. Außer ihnen giebt es aber noch unwillkürliche Bewegungen, bei denen wir nicht imstande sind, einen sie auslösenden äußeren Reiz nachzuweisen. Einige von ihnen treten im Verlauf des normalen Lebens häufig und in immer gleicher Weise, andere nur zuweilen gelegentlich auf.

Die ersteren, zu denen beispielsweise die Atembewegungen gehören, nennt man in der Physiologie automatische Bewegungen. Es ist sehr schwer, diese von den Reflexbewegungen abzugrenzen.

Man kann immer annehmen, dass auch sie durch irgendwelche, aber nicht nachweisbare Reize auf sensible Nerven veranlasst werden, welche auf die motorischen Nerven übertragen werden. Sehen wir von dieser Schwierigkeit ab, so können wir dieselben definieren als Bewegungen, welche durch innere, unter den Bedingungen des normalen Lebens von selbst eintretende Reize hervorgerufen werden. Bei manchen, z. B. bei den Atembewegungen, ist es auch gelungen, diese Bedingungen genauer zu erforschen.

Wir können eine große Zahl von wichtigen Thatsachen über die Funktionen des Nervensystems durch Beobachtungen und Versuche an Tieren feststellen. Sobald es sich aber um die Frage handelt, ob gewisse Bewegungen mit Bewusstseinsvorgängen verbunden sind, ob einwirkende Reize zu bewussten Empfindungen führen, sind wir ausschließlich auf Selbstbeobachtung angewiesen.

Von den Thatsachen des Selbstbewusstseins ausgehend, haben wir für die Naturvorgänge eine konsequent durchgeführte Anschauungsweise ausgebildet. Wir fassen sie alle als Bewegungsformen auf. Diese Vorstellungsweise lässt sich auch für die Vorgänge der Erregung in Nerven und Nervenzellen durchführen. Auch diese können, wie physikalische oder chemische Prozesse überhaupt, als Fälle von Molekularbewegung aufgefasst werden. Sobald wir aber von den Erregungen der Nervenzellen zu den Empfindungen und den aus ihnen sich ergebenden Folgen, den Erscheinungen des Bewusstseins, den Vorstellungen, kurz ausgedrückt zur Betrachtung der sogenannten „psychischen Vorgänge" übergehen, lässt uns jene Anschauungsweise im Stich. Die durch Beobachtung unsrer eignen Bewusstseinszustände gewonnenen Erfahrungen können wir durch aufmerksame Selbstbeobachtung und geeignete Versuche an uns selbst und (mit der notwendigen Vorsicht zur Verhütung von Irrtümern) auch an anderen Menschen vermehren, sichten und ordnen. Was wir auf diese Weise feststellen, macht den Inhalt der empirischen Psychologie aus, welche deshalb zu den Naturwissenschaften und, da es sich um Erscheinungen an lebenden Wesen handelt, insbesondere zur Physiologie gerechnet werden darf. Aber alle diese Erfahrungen geben uns keinen Aufschluss darüber, wie die Molekularbewegungen in den Nervenzellen den Charakter eines psychischen Vorgangs annehmen. Diese Frage ist mit den Mitteln der naturwissenschaftlichen Methoden nicht zu beantworten, sie gehört, wie schon im ersten Kapitel gesagt wurde, in das Gebiet der Metaphysik.

Zwanzigstes Kapitel.

Wachstum und Vermehrung.

1. Die Lebenserscheinungen sind mit Verbrauch lebender Substanz verbunden. Sollen sie ungestört fortgehen, so bedarf es außer der fortwährenden Zufuhr von Sauerstoff und der ungehinderten Ausfuhr der in den Zellen entstandenen Zersetzungsprodukte noch der Zufuhr von Nährstoffen zum Ersatz der verbrauchten Stoffe. Bei Einzellern werden diese aus dem Medium entnommen, in welchem die Lebewesen enthalten sind; bei Vielzellern entnimmt jede Zelle ihren Bedarf aus der Gewebsflüssigkeit, welche sie umgiebt. 1. Wesen des Wachstums.

Sind diese Medien reich an Nährstoffen, so können die Zellen mehr von ihnen aufnehmen, als sie verlieren. Sie nehmen dann an Masse zu, sie wachsen. Ist das Wachstum bis zu einem gewissen Grade fortgeschritten, so tritt Teilung der Zellen ein. Bei Einzellern ist die Teilung gleichbedeutend mit Vermehrung der Individuen. Bei Mehrzellern führt sie zunächst zur Vergrößerung der Leibesmasse, bleibt also Wachstum im weiteren Sinne. Dann aber kann es auch bei diesen zur Loslösung eines größeren oder kleineren Anteils der Leibesmasse kommen, aus dem losgelösten Teil kann ein neues Individuum entstehen, so dass auch in diesen Fällen das Ergebnis in Vermehrung besteht.

Wachstum und Vermehrung sind also zwei Erscheinungsformen eines und desselben Vorgangs, der Umwandlung toter Substanz in lebende durch die assimilatorische Thätigkeit der Zellen. So lange eine der neugebildeten gleiche Substanzmenge durch die Lebensvorgänge aus den Zellen ausgeschieden wird, bleibt die gesamte, gleichzeitig vorhandene Menge lebender Substanz unverändert. Da die Bedingungen für die Assimilation und für die Ausscheidung zeitlichen und örtlichen Schwankungen ausgesetzt sind, wird die Gesamtmenge der in jedem Zeitpunkt auf der Erde vorhandenen lebenden Substanz innerhalb gewisser Grenzen schwanken. Große Veränderungen werden aber nicht eintreten, so lange die Bedingungen für Erhaltung des Lebens im wesentlichen dieselben bleiben.

Die Fähigkeit zu wachsen ist nicht allen Zellen eines mehrzelligen Lebewesens in gleichem Grade eigen; sie nimmt, wie es scheint, bei allen Zellen im Laufe des Lebens ab, aber in den verschiedenen Geweben in ungleicher Weise. So kommt es, dass einzelne Zellen bald zu einem Stillstand kommen. Sie können dann noch mehr oder weniger lange Zeit auf ihrem Stand beharren, indem sie ihre Verluste durch die Assimilation decken. Dann aber gehen sie zu Grunde, werden ausgestoßen oder dienen als Ernährungsmaterial für andere Zellen desselben Individuums. Andere Zellen dagegen befinden sich in fortwährend erneuter, lebhafter Vermehrung. Diesen ist dann vorzugsweise das Wachstum des ganzen Individuums zu verdanken. Das lässt sich am deutlichsten an Pflanzen verfolgen, deren fortwährendes Wachsen von bestimmten Stellen, den Vegetationspunkten, ausgeht.

2. Wachstum bei Pflanzen.

2. Die an diesen Stellen vorhandenen Zellen sind, wenn die Bedingungen es gestatten (passende Temperatur, genügende Nahrungszufuhr) in stetiger Vergrößerung und lebhafter Teilung begriffen. Sie behalten infolgedessen alle Eigenschaften jugendlicher oder embryonaler Zellen. Sie sind noch nicht differenziert, haben noch keinen spezifischen Charakter angenommen; deshalb können sich aus ihnen die verschiedenen Gewebe entwickeln. Solche Zellen finden sich bei Pflanzen an bestimmten Stellen, teils an den Enden des Haupttriebs und der Seitenzweige als Endknospen, teils an anderen Stellen als Seitenknospen. Die Knospen bilden die normalen Wachstumsherde. Gleichartige Zellen oder Zellaggregate kommen aber auch an andren Stellen vor, wo sie häufig, ohne sich zu vermehren, in Ruhe verharren, bis irgend ein Anlass die in ihnen vorhandene Fähigkeit erweckt; man nennt sie Adventivknospen.

Das Wachstum der Pflanzenzellen geht zum Teil ohne Vermehrung der festen Stoffe durch bloße Wasseraufnahme vor sich.[1]) Die Aufnahme erfolgt durch Diosmose infolge der Wasseranziehung durch die im Innern der Zellen befindlichen löslichen Stoffe und kann so lange fortdauern, bis die durch die Vergrößerung bewirkte vermehrte Spannung der elastischen Membran dem osmotischen Druck im Innern das Gleichgewicht hält. Dabei wird die Zelle gestreckt und zugleich die Membran dünner; das Protoplasma, welches anfangs die Zelle ganz erfüllt hat, wird zu einem dünnen Wandbelag zusammengedrängt, während das vergrößerte Volum der Zelle von der vermehrten Flüssigkeit eingenommen wird (vgl. Kap. 7 § 8).

[1]) Örtliches Wachstum kann bei Pflanzen auch auf Kosten anderer Stellen stattfinden. Dann nimmt das ganze Gebilde wegen der gleichzeitigen Atmung und Transpiration sogar an Gewicht ab.

Nachträglich tritt in der Regel ein Wachsen der Membran ein; neue Schichten lagern sich durch Ausscheidung aus dem Protoplasma an die gedehnte Membran an, oder es werden Stoffteilchen durch Aufnahme aus der umgebenden Flüssigkeit zwischen die durch die Dehnung voneinander entfernten Molekeln der ursprünglichen Haut eingelagert. Das Wachstum der Membranen kann also durch Juxtaposition und durch Intussusception zu stande kommen, das des Protoplasmas dagegen nur durch Intussusception, durch Aufnahme neuer Stoffe von außen her, welche die permeable Zellmembran in gelöstem Zustande durchdringen und dann durch Assimilation zu Bestandteilen des Protoplasmas werden. Dieses Wachstum geht fast ausschließlich in den jugendlichen, sich fortwährend teilenden Zellen vor sich. Dabei nimmt die Masse und das Gesamtvolum des wachsenden Gebildes erheblich zu, während die Zellen selbst auf einer geringen Größe beharren. Erst in einem späteren Stadium tritt dann der zuerst geschilderte Vorgang der Volumvermehrung der einzelnen Zellen ein. In den Vegetationspunkten findet man daher die kleinen Zellen an den Scheitelpunkten der Triebe, die vergrößerten in einiger Entfernung von diesen, in den schon älteren Teilen.

3. Das Wachstum der tierischen Zellen und der von ihnen gebildeten Aggregate gestaltet sich etwas abweichend von den eben geschilderten Vorgängen bei Pflanzen, hauptsächlich wegen der Abwesenheit der Membranen. Eine erhebliche Zellvergrößerung durch bloße Wasseraufnahme kann nicht eintreten (vgl. Kap. 7 § 8); die Zellen bleiben klein, haben immer nur kleine Vakuolen; sie vermehren sich, nachdem sie eine gewisse Größe erreicht haben, durch Teilung. Die Gesamtzunahme eines Tiers oder des Teils eines solchen erfolgt also mehr durch Zellvermehrung als durch Zellvergrößerung. In embryonalen Geweben bildet sich, wenn die Vermehrung an einzelnen Stellen lebhafter ist, ganz wie bei Pflanzen, ein Höcker oder eine Knospe. So entstehen z. B. auf einem gewissen Stadium der embryonalen Entwickelung die Anlagen der Extremitäten. Oder es bilden sich durch örtliches stärkeres Wachstum vorspringende Leisten, Faltungen u. d. g. Auf diese Weise entstehen die mannigfachen Organe, für deren Gestaltung in erster Linie die besonderen Eigenschaften der Zellen, in zweiter Linie, aber in viel geringerem Grade, mechanische Verhältnisse, wie Stellen geringeren oder größeren Widerstands, maßgebend sind. Außerdem haben auf das Wachstum die im vorigen Kapitel besprochenen Reize Einfluss, daher die Bezeichnung formative Reize. Wir sind jedoch nicht imstande, über die Natur dieser Reize und die Art, wie sie das Wachstum beeinflussen, etwas Bestimmtes auszusagen. Die Erforschung aller dieser Erscheinungen

3. Wachstum tierischer Zellen.

steckt noch in den allerersten Anfängen. Wir sind zwar, dank den Untersuchungen auf dem Gebiet der Entwicklungsgeschichte, über die Formfolgen bei vielen Lebewesen mehr oder weniger genau unterrichtet. Man hat sogar angefangen, experimentell in den Ablauf der Erscheinungen einzugreifen, und hat auf diesem Wege schon sehr interessante Ergebnisse erzielt. Trotzdem ist aber die Aufstellung allgemein giltiger Gesetze zur Zeit noch nicht möglich.

Je weiter die Differenzierung der Zellen fortschreitet, desto schwächer wird ihr Vermögen, sich lebhaft zu vermehren und neue Bildungen hervorzubringen. Die meisten fertigen Gewebe eines höheren Tiers können wohl noch durch Aufnahme von Stoffen wachsen. Es gehen auch immer einzelne Zellen in ihnen zu Grunde und werden durch neue, aus der Teilung der schon vorhandenen entstandene ersetzt, es kann auch eine Massenzunahme des Organs zu stande kommen, aber die neuen Zellen sind immer nur von derselben Art wie diejenigen, aus denen sie hervorgehen. Deshalb wird auch in den Organen, in welchen stets verschiedene Gewebe in besonderer Weise miteinander verbunden sind, bei etwaigen Neubildungen, welche einen nach Verletzung oder Erkrankung entstandenen Substanzverlust ersetzen, nicht das Gefüge, die charakteristische Anordnung der Gewebe gegeneinander, in der dem Organ eigentümlichen Weise wieder hergestellt, sondern die Neubildung besteht gewöhnlich nur aus der Anhäufung einer Zellenart, welche durch lebhafte Wucherung sich massenhaft vermehrt hat. Auch diese Fähigkeit bleibt nicht allen Arten der differenzierten Zellen in gleichem Maße erhalten. Dagegen scheinen überall zwischen den differenzierten Zellen einzelne ihren jugendlichen, embryonalen Charakter zu bewahren, und von diesen können unter besonderen Umständen umfangreiche Neubildungen oder Wucherungen ausgehen. Auf diese Weise kann man die Entstehung von Geschwülsten mit spezifischem, von dem des umgebenden Gewebes abweichendem Ckarakter deuten, welche in vieler Beziehung mit dem oben erwähnten Austreiben von Sprossen aus den „schlummernden" Adventivknospen verglichen werden kann.

Die plötzlich auftretende lebhafte Wucherung kann häufig die Folge von Reizungen sein, wie man an der Callusbildung bei Pflanzen, an der Narbenbildung bei Tieren nach Verletzungen sieht. Das Austreiben neuer Sprossen nach Verletzungen bei Pflanzen kommt durch vermehrten Zufluss der Nahrung zu den unterhalb der Verletzung vorhandenen Knospen zu stande, die Gallenbildung nach Insektenstichen und ähnliche Abänderungen des Wachstums sind dagegen die Folge abnormer Reizungen.

4. Regeneration.

4. Von der mehr oder weniger fortgeschrittenen Differenzierung ist auch die Abhängigheit der Organe voneinander bedingt. Während

die ursprüngliche Zelle alle Lebenseigenschaften in sich vereinigt und nur der Zufuhr geeigneten Nährmaterials und genügenden Sauerstoffs sowie der Möglichkeit, ihre beim Stoffwechsel entstehenden Zersetzungsprodukte abzugeben, bedarf, sind die einzelnen Organe der höheren Lebewesen so aufeinander angewiesen, dass sie nur im Zusammenwirken miteinander bestehen können. Daher können wohl solche Organe, wenn sie von dem Ganzen abgelöst sind, noch kürzere oder längere Zeit überleben (vgl. Kap. 13 § 1 und Kap 18 § 7), aber immer nur begrenzte Zeit. Die gegenseitige Abhängigkeit ist bei höheren Lebewesen eine größere als bei niederen, bei Tieren im allgemeinen größer als bei Pflanzen. Das Entscheidende ist immer, ob in dem abgelösten Teile alle zur Erhaltung des Lebens notwendigen Gewebe vorhanden und ob die Bedingungen für die Unterhaltung des Stoffwechsels gegeben sind. Deswegen kann, wie wir schon gesehen haben, der abgeschnittene Zweig einer höheren Pflanze, in Wasser gestellt, noch lange am Leben bleiben; geschlossene Knospen und Blüten können sich entfalten u. s. w. Ein solcher Zweig kann aber auch, wenn mann sein unteres Ende in die Erde steckt, an diesem neue Wurzeln erzeugen; er kann sich zu einer vollständigen Pflanze regenerieren. Das Gleiche gilt für Wurzeln und Teile derselben, für Rhizomknollen, Zwiebeln u. s. w. Man benutzt das bekanntlich in der Gärtnerei zur Vermehrung von Pflanzen (Stecklingsvermehrung, Vermehrung der Kartoffeln u. s. w.).

Diese Regenerationsfähigkeit ist zuweilen selbst kleinen Bruchstücken von höheren Pflanzen eigen, wenn in ihnen alle wesentlichen Gewebe vertreten sind. Blattstücke von Begonien, auf feuchten Sand gelegt, treiben an den Bruchstellen der Blattnerven Wurzeln und werden zu neuen Pflanzen; die Wurzeln von Ipecacuanha, in kleine Stückchen zerschnitten und ausgesät, erzeugen gleichfalls ganze Pflanzen. Ähnliche Beispiele könnten noch viele angeführt werden.

Mit dieser Art der Regeneration verwandt ist die Verwachsung passend zusammengefügter Pflanzenteile, auf welcher das in der Gärtnerei als sogenannte Veredlung übliche Verfahren begründet ist. Man unterscheidet dabei das Pfropfen und das Okulieren, je nachdem ein ganzer Zweig (das Edelreis) oder nur eine Knospe (Edelauge) mit geringen Mengen der angrenzenden Gewebe, Rinde uud etwas Holz, auf den Wildling übergepflanzt wird. Die Verwachsung erfolgt, wenn möglichst gleichartige Gewebe in unmittelbare Berührung kommen, aber nur zwischen naheverwandten Arten.

Dabei zeigt sich noch eine wichtige Thatsache. Bringt man beim Pfropfen das obere Ende des Pfropfreises mit dem Wildling in Berührung, so erfolgt die Verwachsung nicht. Ebenso müssen die Stecklinge, wenn sie sich bewurzeln sollen, mit dem unteren Ende in die

Erde gesteckt werden. Ausnahmen von dieser Regel kommen vor; die entstehenden Gebilde sind aber nicht lebensfähig und gehen bald zu Grunde. Wir sehen daraus, dass in den Teilen der Pflanze eine Art von Polarität ausgebildet ist. Das untere Ende eines abgeschnittenen Zweiges verhält sich anders als das obere, gleichgiltig wo man den Zweig abgeschnitten hat. Die polaren Gegensätze müssen also in jedem kleinsten Teilchen einer Pflanze vorhanden sein.

Auch tierische Gewebe, selbst wenn sie vom Körper ganz losgelöst sind und von verschiedenen Individuen stammen, können zuweilen verwachsen oder, wie man sagt, zusammenheilen. Doch ist das nur in sehr engen Grenzen möglich. Dabei, wie bei Pflanzen, erfolgt das Zusammenwachsen leichter, wenn die aneinanderstoßenden Gewebe von artgleichen Lebewesen stammen, schwer dagegen bei Bruchstücken verschiedenartigen Ursprungs. Gewebe, welche keine Blutgefäße besitzen, sondern sich nur durch Aufnahme der Gewebsflüssigkeit ernähren, wie Epithelien und Knorpel, können selbst dann, wenn sie von höheren Tieren stammen, in fremder Umgebung, z. B. wenn sie in die Bauchhöhle eines anderen Tiers transplantiert werden, am Leben bleiben. In einzelnen Fällen sollen auch Gefäße aus der Umgebung in transplantierte Organe hineinwachsen, so dass diese anheilen und am Leben bleiben können.

Von einzelligen Lebewesen wurde schon in Kap. 13, § 3 berichtet, dass Bruchstücke derselben weiterleben und sich ganz wie ganze Lebewesen verhalten können, wenn in ihnen Kernsubstanz und Protoplasma vertreten sind. Schneidet man ein etwas größeres einzelliges Lebewesen, z. B. das in Fig. 121 abgebildete Infusorium *Stentor polymorphus*, dessen langgestreckter Leib die Teilung erleichtert, so durch, dass der hintere, dünnere Abschnitt noch einen Teil des rosenkranzförmigen Kerns enthält, so entwickelt sich an diesem ein neuer Wimperkranz, während sich die Schnittstelle des vorderen Abschnitts einfach schließt. Die beiden Teilstücke leben als selbständige Tiere fort. Ähnlich ist es bei niederen Metazoen, bei denen sich die Differenzierung auf den Unterschied von Entoderm und Ektoderm beschränkt. Schneidet man z. B. eine *Hydra fusca* (Fig. 124, S. 531) quer durch, so entwickelt sich an dem hinteren Abschnitt ein neuer Tentakelkranz; die Wunde des vorderen schließt sich, heftet sich an einem festen Gegenstand an, und beide Teilstücke leben als selbständige Polypen weiter.

Wird das Tierchen in drei oder mehr Stücke zerschnitten, so können sich alle zu vollen Polypen entwickeln; unter günstigen Umständen gelingt dies selbst mit einem abgeschnittenen Tentakel. Die Stücke setzen sich immer mit ihren hinteren Enden fest und bilden an ihren vorderen Enden Tentakelkränze. Wir sehen also auch hier eine vorgebildete Polarität wie bei Pflanzenteilen.

Jedes so abgetrennte Stück eines Hydroidpolypen besitzt noch Entoderm und Ektoderm; das ist alles, was dem Tier an differenzierten Geweben zukommt. Deshalb bleiben in jedem Teilstück die zur Erhaltung des Lebens erforderlichen Eigenschaften erhalten, es kann zu einem ganzen Tier auswachsen. Wenn man aber einen Polypen so umstülpt, dass sein Entoderm nach außen, sein Ektoderm nach innen gekehrt ist, so geht er zu Grunde, wenn es ihm nicht gelingt, sich wieder zurückzustülpen. Die beiden Gewebe können sich also nicht in ihren Funktionen, für welche jedes durch die Differenzierung eine höhere Befähigung erlangt hat, vertreten.

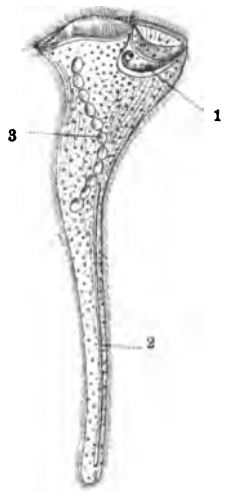


Fig. 121.

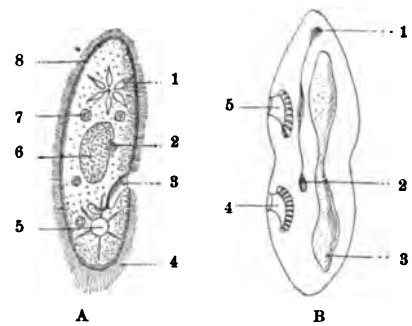


Fig. 122.

Fig. 121. Stentor polymorphus, ein Infusorium, welches sich wegen seines langgestreckten Kernes zu Teilungsversuchen eignet. 1 das die Mundöffnung umwindende spiralige Wimperband, 2 die lange kontraktile Vakuole, 3 der Kern.

Fig. 122. Teilung von Paramaecium. A das ausgebildete Tier. 1 und 5 kontraktile Vakuolen, 2 Nebenkern, 6 Hauptkern, 3 Mundöffnung und Schlund, 7 Nahrungsvakuole, 8 die in der Cuticula gelegenen Borsten, 4 dieselben herausgestreckt. B dasselbe, in Teilung begriffen, schematisch. 1, 2 der in Teilung begriffene Nebenkern, 3 der Hauptkern, 4 und 5 die neue und die alte Mundöffnung.

Auch an mehr differenzierten Tieren, Würmern, Crustaceen, Insekten, Amphibien, Reptilien kommen Regenerationen einzelner verloren gegangener Teile vor. Sie werden im allgemeinen schwieriger, je höher die Tiere stehen. Die regenerierten Teile sind häufig kleiner als die abgetrennten und mangelhaft ausgebildet. Die Neubildung der Scheren bei Krebsen nach Verlust der alten mag als Beispiel solcher Regenerationen dienen. Dass Krebse ihre Scheren zu regenerieren imstande sind, während Insekten verloren gegangene Extremitäten nicht wieder zu ersetzen vermögen, muss wohl in Unterschieden der Gewebe dieser sonst einander

nahe stehenden Tiergruppen begründet sein. Wir wissen aber nicht, worin diese Unterschiede bestehen.

Die Regeneration von Organen höherer Metazoen darf nicht ohne weiteres mit dem Austreiben neuer Sprossen nach Verletzungen bei Pflanzen in gleiche Linie gestellt werden. Wenn ein Zweig einer Pflanze abgeschnitten wird, so kommt das Nahrungsmaterial, welches mit dem Saftstrom sonst jenem Zweige zugeführt worden wäre, in verstärktem Maße den unter der Schnittstelle gelegenen Knospen zu gute. Sie wachsen dann stärker; unter Umständen werden auch Adventivknospen, welche sonst ruhend geblieben wären, zum Austreiben veranlasst. Man kann dasselbe, wenn auch in geringerem Grade, bewirken, wenn man über einem Seitentriebe oder einer Knospe einen Einschnitt macht, welcher die Gefäßbündel durchtrennt, so dass der von der Wurzel aufsteigende Saftstrom stockt und dadurch mehr Nährstoffe den unter der Verletzung gelegenen Knospen zu gute kommen. Das, was aus der Knospe auswächst, in unserm Fall ein beblätterter Zweig, ist in der Anlage der Knospe sozusagen vorgesehen; die Zellen der Knospe bleiben entweder unentwickelt, oder sie entwickeln sich zu einem solchen Zweige. Wenn aber nach dem Verlust des Schwanzes bei einer Eidechse oder der Schere bei einem Krebse an der Verletzungsstelle wieder ein neuer Schwanz, eine neue Schere entstehen, Organe von ganz bestimmter Form und Zusammensetzung, genau nach dem Muster der verloren gegangenen, so können wir nicht behaupten, dass die Anlage zur Entwickelung jener Organe in den Zellen, aus denen sie entstehen, schon vorhanden war. Wir sehen vielmehr, dass die Entwicklung der Zellen an jeder Stelle von bestimmten örtlichen Bedingungen abhängt, so dass sogar Zellen, die schon einen abweichenden Entwicklungsgang eingeschlagen hatten, diesen aufgeben und veranlasst werden, sich den neuen Bedingungen anzupassen.

5. Teilung, Sprossung und Sporenbildung.

5. Wenn das Wachstum und die Zellteilung zur Trennung der entstandenen Zellen und zur Entstehung neuer Individuen führt, so sprechen wir von Vermehrung. Setzen die neuen Individuen nach dem Tode der ursprünglichen die Lebenserscheinungen in derselben Art fort, wie sie die ursprünglichen gezeigt haben, so bezeichnet man diese mittelbare Art der Fortsetzung des Lebens als Fortpflanzung.

Die einfachste Form der Vermehrung ist die Teilung, wie wir sie bei Amöben kennen gelernt haben (vgl. Kap. 12 § 8). Sie kommt bei einzelligen, sowie bei vielen mehrzelligen Lebewesen vor. Als Beispiel der Teilung eines verhältnismäßig hoch organisierten Lebewesens möge das schon früher (Kap. 13 § 6) besprochene *Paramaecium* dienen (Fig. 122, S. 529). Die Teilung beginnt mit einer Streckung des Nebenkerns; nachdem sich derselbe geteilt hat,

folgt die Teilung des Hauptkerns. Inzwischen entsteht an der Mundöffnung (3) eine Ausbuchtung, aus welcher die neue Mundöffnung für das eine Teiltier entsteht, während die alte Mundöffnung dem anderen (in der Abbildung oberen) Teiltier erhalten bleibt. Endlich erfolgt unter Streckung und Einschnürung der Mitte die vollständige Trennung.

In ähnlicher Weise verläuft die Teilung bei vielen anderen Infusorien, z. B. dem in Fig. 121 dargestellten *Stentor*. Die Teilung ist in diesen Fällen eine quere; die Teilebene steht senkrecht zur Längsachse. Diese Art der Teilung ist die häufigste bei Lebewesen, bei denen eine Achse erheblich länger ist als die anderen. Zuweilen erfolgt jedoch die Teilung senkrecht auf eine kurze Achse. Solch Längsteilung zeigen u. a. Diatomeen und Vorticellen (vgl. Fig. 61, S. 334).

Fig. 123.

Fig. 124.

Fig. 123. Sprosspilze mit je einem oder zwei Sprossen.

Fig. 124. Hydra fusca, an einer Wasserpflanze festsitzend, mit langen Tentakeln und zwei Knospen am Stammteil, von denen die rechte schon die Form des Polypen erkennen lässt.

Eine Abart der Teilung ist die Sprossung. Während bei ersterer die Zelle sich in zwei nahezu gleiche Hälften teilt, schnürt sich bei der Sprossung nur ein kleiner Teil der Zelle ab und wächst erst nachträglich zu der Durchschnittsgröße der Mutterzelle heran. Der Vorgang kann sich wiederholen; bleiben die entstandenen Sprosse noch einige Zeit in Verbindung mit den Mutterzellen, so entstehen längere, geradlinige oder verzweigte Zellfäden, wie man sie häufig bei den Hefearten (Fig. 123) sieht.

Neben der Vermehrung durch Teilung oder Sprossung besteht häufig Vermehrung durch Sporenbildung. Sporen nennt man Keime, welche längere oder kürzere Zeit in ruhendem Zustand verharren, um dann zu neuen Lebewesen der gleichen Art auszuwachsen.

Wenn sie durch starkwandige Umhüllung gegen die Schädlichkeiten der Eintrocknung, der Winterkälte u. s. w. geschützt sind, nennt man sie Dauersporen; wenn sie durch Wimpern oder Geißeln selbständige Bewegungen ausführen können, Schwärmsporen. Bildung von Dauersporen tritt bei Bakterien und Sprosspilzen zeitweise an Stelle der gewöhnlichen Vermehrung durch Teilung oder Sprossung auf, wenn diese durch Nahrungsmangel, Wasserentziehung oder andre das Leben bedrohende Schädlichkeiten unmöglich wird. Im Innern der Zelle bildet sich um den Kern herum eine dichtere Anhäufung des Protoplasmas; diese umgibt sich mit einer dickwandigen Haut, welche ihr als Schutzhülle dient.

Ganz ähnlich verläuft, wie wir gesehen haben (vgl. Kap. 12 § 9) die Encystierung bei Amöben. In diesem Falle dient sie nicht zur Vermehrung, sondern nur dazu, das Lebewesen unter ungünstigen äußeren Verhältnissen am Leben zu erhalten und später eintretende Vermehrung zu ermöglichen. Bei der eigentlichen Sporenbildung wird aber entweder nur ein Teil des Lebewesens zur Spore und löst sich unter Erhaltung des Lebens des Restes von diesem ab, um sich dann unter geeigneten Umständen zu einem neuen Individuum zu entwickeln, oder es tritt innerhalb der Zelle vor oder nach ihrer Ablösung eine vielfache Teilung ein. Dann entstehen gleichzeitig viele Sporen von geringer Größe. Diese verschmelzen häufig erst mit anderen Teilen desselben Individuums oder eines Individuums der gleichen Art, ehe es zur Entwickelung neuer Individuen kommt. Dann gehört die Erscheinung schon in die Reihe der geschlechtlichen Fortpflanzungsarten, von welchen in den folgenden Paragraphen die Rede sein wird.

Ein Beispiel von Schwärmsporenbildung wurde schon bei den *Myxomyceten* erwähnt (s. Fig. 64, S. 338). Sehr verbreitet ist dieselbe bei Algen und bei Algenpilzen. Schwärmsporen treten nur auf bei Lebewesen, welche im Wasser oder (meistens als Schmarotzer) auf feuchten Unterlagen leben. Doch können auch die Samenfäden oder Spermien (s. Fig. 59, S. 332) den Schwärmsporen zugezählt werden.

Der Sprossung der Einzelligen entspricht bei mehrzelligen Lebewesen die Knospung. Einzelne Zellen des vielzelligen Lebewesens nehmen an der fortschreitenden Differenzierung nicht teil, behalten ihren embryonalen Charakter und entwickeln, indem sie sich lebhaft vermehren, neue Triebe, wie wir das von Pflanzen gesehen haben, oder, indem sich die Knospen ablösen, neue selbständige Lebewesen. Solche Vermehrung durch Knospen kommt sowohl bei Pflanzen wie besonders bei niederen Tieren vielfach vor, wie man an der in Fig. 124, S. 531 abgebildeten *Hydra* sieht, bei welcher links eine junge, eben angelegte, rechts eine schon weiter entwickelte Knospe sichtbar ist; letztere zeigt schon deutlich die Form des

Muttertiers. Die Knospen lösen sich entweder, wenn sie eine gewisse Größe erreicht haben, von dem Muttertier los, um als Einzeltiere weiter zu bestehen; oder sie bleiben mit diesem vereinigt, wodurch dann Kolonieen oder auch Tierstöcke zu stande kommen (vgl. Kap. 13 § 13).

Die Knospen der Tiere, aus denen sich neue Individuen entwickeln, können in vielen Stücken den Knospen der höheren Pflanzen gleich gesetzt werden, aus denen Zweige u. s. w. hervorwachsen. Bleiben diese auch im gewöhnlichen Verlauf des Pflanzenlebens in Verbindung mit der Stammpflanze, von welcher sie durch die gemeinschaftliche Wurzel Nährstoffe empfangen und der auch die in ihren Blättern erzeugten organischen Stoffe zu gute kommen, so hat doch immer jeder Zweig eine große Selbständigkeit und kann sich unter Umständen zu einer ganzen Pflanze entwickeln. Eine höhere Pflanze gleicht deshalb viel mehr einem Tierstock, als einem einheitlichen Tier. Die Übereinstimmung in der Vermehrungsweise wird noch größer, wenn sich auch bei der Pflanze die Knospe loslöst, um sich zu einer neuen, selbständigen Pflanze zu entwickeln. Enthält die Knospenanlage reichlich Nährstoffe in Gestalt von Reservestoffen, so kann die Loslösung vor der Entwicklung der neuen Pflanze erfolgen; anderenfalls bleibt die Knospe mit der Mutterpflanze verbunden, bis sich Blätter und Wurzeln zu ihrer Ernährung entwickelt haben. Für diesen letzteren Fall bieten die auf der Erde kriechenden Ranken der Erdbeeren ein allgemein bekanntes Beispiel. Ähnlich ist es bei den perennierenden Stauden, bei denen aus dem innerhalb der Erde in horizontaler Richtung fortwachsenden Rhizom in jedem Jahre eine neue Pflanze zum Ersatz für die absterbende hervorwächst, während die fortwachsende Spitze die Knospe für die nächstjährige Pflanze entwickelt. Verdickt sich das Rhizom zu einer an Reservestoffen reichen Knolle, so kann seine Verbindung mit der Mutterpflanze absterben, bevor aus den an den Knollen auftretenden Knospen neue Pflanzen entstehen. Entwickelt sich das Rhizom zu einer scheibenartig verbreiterten Fläche mit zahlreichen, an Reservestoffen reichen Blättern (Zwiebeln), so entstehen in den Blattachseln Knospen, aus denen Brutzwiebeln werden, die zu neuen Pflanzen heranwachsen. Zuweilen entstehen die Brutzwiebeln in den Blüten statt der Samen (Knoblauch). Alle diese Vermehrungsarten können neben der geschlechtlichen Vermehrung durch Samen vorkommen, meistens aber drängen sie die letztere mehr und mehr in den Hintergrund, so dass bei der Mehrzahl der Pflanzen, bei denen diese ungeschlechtliche Vermehrung vorkommt, sie die fast oder ganz ausschließlich herrschende wird.

Dass auch bei relativ hochorganisierten Metazoen neben der ihnen sonst zukommenden geschlechtlichen Fortpflanzung die Vermehrung durch Knospung vorkommt, zeigt das Beispiel der Anneliden oder Ringelwürmer. Entweder erfolgt nur eine einfache Verdopplung des Tiers

durch Querteilung, oder es entstehen durch wiederholte Knospung mehrere Tochtertiere, ohne dass sie sich voneinander trennen. So bleibt eine ganze Kette von Tieren verschiedenen Alters miteinander vereinigt, wie man an der in Fig. 125 abgebildeten *Myrianida fasciata* sieht. Die Vorgänge verlaufen hierbei ähnlich wie bei der im § 5 geschilderten Vermehrung durch künstliche Teilung, nur dass die neuen Organe (Mund, Schwanzende) vor der Trennung gebildet werden.

6. Konjugation.

6. Bei allen bisher besprochenen Arten der Vermehrung gehen die jungen oder Tochter-Individuen immer nur aus einem, dem Stamm- oder Mutter-Individuum hervor, sei es, dass dieses ganz in die zu erzeugende Nachkommenschaft aufgeht, wie bei der Teilung, oder nur zum Teil, wie bei der Sprossung und Sporenbildung. Im Gegensatz hierzu kommt bei höheren Lebewesen ausschließlich, bei niederen nicht selten neben den schon besprochenen Vermehrungsweisen eine andre vor, bei welcher erst durch die Vereinigung zweier Zellen die Möglichkeit der Entwickelung einer neuen Generation gegeben wird. Diese Zellen sind entweder unter sich gleich oder voneinander durchaus verschieden. Im letzteren Falle nennt man die Vermehrung eine geschlechtliche und unterscheidet zwischen männlichen und weiblichen Geschlechtsprodukten. Im andren Falle, welchen man gleichsam als Vorstufe der geschlechtlichen Vermehrung ansehen kann, findet zwar eine Vereinigung zweier Zellen statt, aber diese Teile zeigen keine oder doch keine ausgeprägte geschlechtliche Differenzierung. Sie sind auch nicht immer eigens für die Vermehrung bestimmte Zellen, sondern es können ganze Individuen[1]) sein, aus deren Vereinigung die neuen Generationen hervorgehen. Diese Vorgänge werden unter dem Namen der Konjugation zusammengefasst.

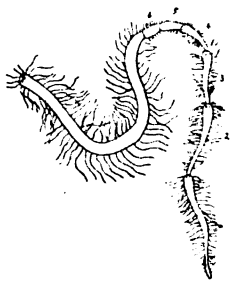


Fig. 125.

Myrianida, ein zu den Anneliden gehöriger Borstenwurm, durch wiederholte Knospung sich vermehrend. Die beigesetzten Zahlen geben die Zeitfolge an, in welcher die Tochtertiere aus dem Muttertier (links) hervorgesprosst sind.

Konjugation ganzer Individuen ist bei vielen Protisten beobachtet worden, welche sich für gewöhnlich durch Teilung vermehren; sie kommt wahrscheinlich bei allen vor. Die Individuen legen sich aneinander und trennen sich nach einiger Zeit wieder, nachdem Teile ihrer Leibessubstanz ausgetauscht worden sind. Einen genauer bekannten Fall dieser Art werden wir später eingehender schildern

[1]) Die Individuen, welche ganz oder deren Teile miteinander verschmelzen, müssen zu der gleichen oder doch zu nahe miteinander verwandten Arten (im Sinne der Systematik) gehören. Näheres hierüber s. im folgenden Kapitel.

(*Paramaecium*). Oder die Individuen verschmelzen vollkommen, bilden eine sogenannte Zygospore, aus der neue Individuen hervorgehen (*Heteromita*, eine Flagellate).

Konjugation kommt bei vielen Metaphyten und Metazoen neben anderen Vermehrungsweisen vor. Die Schimmelpilze der Gattung *Mucor* pflanzen sich gewöhnlich durch Sporenbildung fort. Sie bestehen aus langen, reichverzweigten Zellen, welche auf feuchter Unterlage (Dünger, Brot u. d. g.) einen dichten Belag von sogenannten Mycelhyphen bilden, während einzelne Zellzweige sich als atmosphärische Hyphen senkrecht zum Mycelium in die Luft erheben. An den Enden dieser letzteren Hyphen entsteht durch Anschwellung und Abscheidung einer Scheidewand ein Sporenbehälter, Sporangium; die Scheidewand wölbt sich in das Sporangium vor und bildet die keulenförmige Columella. Im Sporangium entstehen durch Teilung zahlreiche Sporen, ovale, glänzende Körper, aus Protoplasma, Kern und dicker Zellwand bestehend. Sie werden durch eine gallertige, stark quellbare Substanz zusammengehalten. Das reife Sporangium platzt bei der leisesten Berührung, die gallertige Substanz quillt durch Wasseraufnahme und zerstreut die in ihr gelegenen Sporen, aus denen dann neue Hyphen auswachsen. Statt dieser gewöhnlichen Art der Fortpflanzung tritt aber unter gewissen Umständen Konjugation ein. Aus zwei benachbarten Hyphen wachsen seitliche Fortsätze hervor. Sobald sie sich berühren, grenzt sich am Ende eines jeden Fortsatzes durch eine neugebildete Scheidewand je eine kurze Zelle ab. Diese beiden Zellen, die Gameten, verschmelzen durch Auflösung der sie trennenden Zellwände zu einer Zygospore, welche sich mit einer dicken, meist mit Stacheln versehenen Haut umgibt. Sie kann lange im Ruhezustand verharren und dann, nach Sprengung der Kapsel, wie andere Sporen zu neuen Hyphen auswachsen.

In etwas anderer Weise verläuft der Konjugationsvorgang bei einer Klasse von Algen, welche als Konjugaten von andern Algen unterschieden werden. Betrachten wir eine Alge aus der Gattung *Spirogyra* (Fig. 126, S. 536). Sie besteht aus langen Fäden, die aus Zellen zusammengesetzt sind, und wächst durch Teilung der Zellen. Das Protoplasma bekleidet als dünner Belag die Zellwand; zarte von ihm ausgehende Protoplasmafäden ziehen zu dem im Innern gelegenen, von etwas Protoplasma umhüllten Zellkern. Sehr eigentümlich ist der Chlorophyllkörper; er besteht bei der hier abgebildeten *Spirogyra* aus drei spiralig verlaufenden, dünnen Bändern.

Nachdem die Fäden eine gewisse Länge erreicht haben, tritt die Konjugation ein. Bei einigen Arten von *Spirogyra* entstehen, wie es Fig. 127 A zeigt, an den Zellen zweier nebeneinander liegender Fäden seitliche Fortsätze, welche sich schließlich berühren und

durch Auflösung der sie begrenzenden Membranen miteinander in Verbindung treten. Dann wandert der Inhalt der Zellen des rechts gezeichneten Fadens in die entsprechenden Zellen des anderen Fadens hinüber; die Protoplasmen und Kerne verschmelzen miteinander und umgeben sich mit einer derben Haut. Die so entstandenen Zygosporen können Austrocknung und die niedere Temperatur des Winters ohne Schaden überstehen. Aus ihnen entstehen später neue Zellfäden. Bei anderen Arten, wovon ein Beispiel in Fig. 127 *B* dargestellt ist, geht die Verschmelzung zwischen benachbarten Zellen eines und desselben Fadens vor sich.

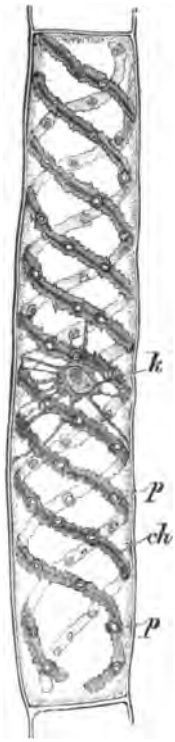


Fig. 126.

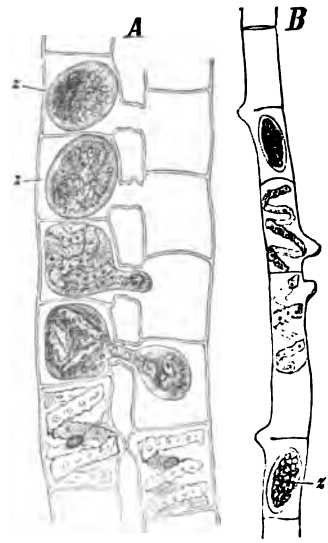


Fig. 127.

Fig. 126. Zelle aus einem Spirogyrafaden, 200 mal vergrößert. *k* der Kern, *p* Pyrenoide, *ch* die spiraligen Chlorophyllbänder.

Fig. 127. Konjugation bei zwei verschiedenen Arten von Spirogyra. *A* Sp. quinina, *B* Sp. longata, *z* die durch Konjugation zweier Protoplasten entstandene Zygospore.

Die Annäherung der beiden zur Konjugation sich vorbereitenden Zellen kommt bei *Spirogyra* sowohl wie bei *Mucor* durch Wachstumsvorgänge zu stande. Dann aber geht bei Spirogyra eine Überwanderung des einen Protoplasten zu dem anderen, ruhenden, vor sich, während bei Mucor keine aktive Bewegung des Protoplasmas konstatiert werden kann. In dem verschiedenen Verhalten der beiden Gameten von Spirogyra lässt sich die erste Andeutung eines Geschlechtsunterschieds erkennen, welcher bei der eigentlichen geschlechtlichen Kon-

jugation immer wiederkehrt. Man kann deshalb, nach Analogie dieser letzteren, die bewegliche Gamete als männliche, die unbewegliche als weibliche bezeichnen, obgleich sonst keine merklichen Unterschiede an ihnen nachzuweisen sind.

Die beiden Fälle, welche in Fig. 127 *A* und *B* dargestellt sind, zeigen auch noch einen Unterschied in der Verteilung der Geschlechter. Bei *Spirogyra quinina* (*A*) enthält der eine Faden nur männliche, der andere nur weibliche Gameten; bei *S. longata* (*B*) dagegen sind beide Arten in einem und demselben Faden vertreten. Nach Analogie mit ähnlichen Verhältnissen bei höheren Pflanzen kann man die erstere als zweihäusig oder diöcisch, die andere als einhäusig oder monöcisch bezeichnen.

Ein recht deutliches Beispiel von Konjugation unter sich verschiedener, aus einer und derselben Zelle hervorgehender Elemente bieten die verschiedenen Arten von Vorticellen.

Fig. 128.
Stück einer Kolonie von Epistylis umbellaria. Bei 1 ist eine herbeigeschwommene Mikrospore in Begriff, mit einer Megaspore zu verschmelzen; bei 2 mehrere durch Teilung entstandene Mikrosporen.

Die Vorticellen vermehren sich vielfach durch Teilung. Der hufeisenförmige Kern streckt sich und stellt sich quer zur Längsachse; dann spaltet sich die Glocke, so dass zwei Glocken auf demselben Stiel aufsitzen. Eine von beiden streckt sich, nimmt eine mehr cylindrische Form an und bildet an dem proximalen oder Stielende einen zweiten Wimperkranz. Dann löst sie sich vom Stiel los, schwimmt eine Zeit lang frei umher, setzt sich wieder fest, verliert ihren unteren Wimperkranz und entwickelt dort einen neuen Stiel.[1]) Zuweilen sind aber die durch Teilung entstehenden Abschnitte von sehr verschiedener Größe; oder die eine durch Teilung entstandene Hälfte teilt sich sofort wieder in mehrere, bis zu acht, kleinere. Die so entstehenden sogenannten Mikrosporen schwimmen frei umher, bis sie irgendwo an eine gewöhnliche Zelle, die Megaspore, herankommen. An diese heften sie sich nahe dem Stielende an und verschmelzen mit derselben. Aus dem so mit einem fremden Teilstück verschmolzenen Individuum gehen dann durch gewöhnliche Teilung wieder neue Vorticellen hervor. S. Fig. 128.

[1]) Die freischwimmende, von der typischen Vorticellenform abweichende Teilungszelle erinnert an das, was man sonst, besonders bei Metazoen „Larve" nennt. Vgl. § 10.

Wieder in anderer Weise vollzieht sich die Konjugation bei *Paramaecium*. Wie die Figuren 129, 1 bis 6 zeigen, legen sich zwei Individuen derart zusammen, dass die Mundöffnungen aneinander stoßen. Während des nun folgenden, sehr verwickelten Vorgangs verschwinden diese vollkommen und bilden sich erst nach der schließlich wieder eintretenden Trennung der Individuen von neuem. Die Hauptkerne zerfallen in eine große Zahl kleiner Bruchstücke, welche mit dem Protoplasma verschmelzen. Vorher schon wachsen

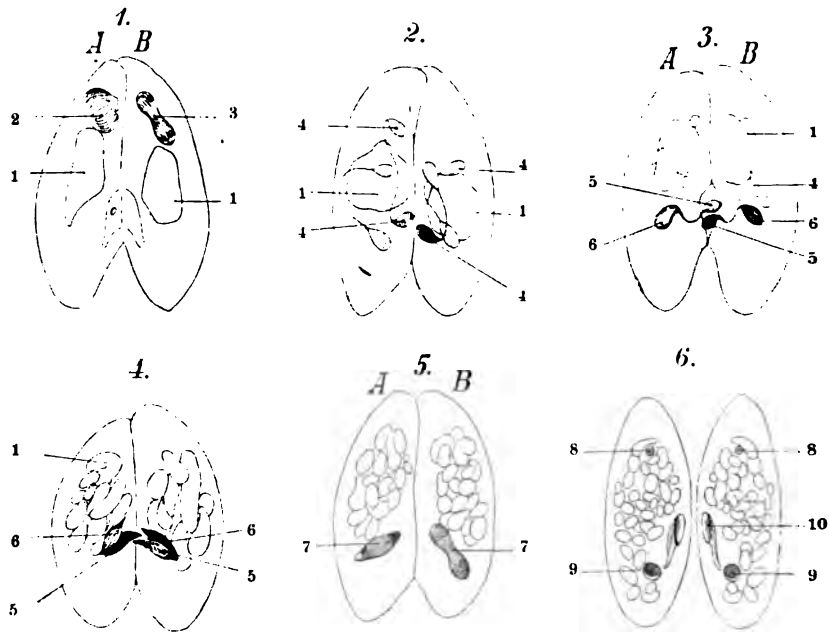


Fig. 129.

Konjugation bei Paramaecium, schematisch. *A* und *B* sind die beiden konjugierenden Individuen. 1 der Hauptkern, welcher zerfällt und später (s. No. 6) durch den neugebildeten Hauptkern 9 ersetzt wird, 2 Nebenkern, der Spindelform angenommen hat, 3 derselbe in Teilung begriffen, 4 die durch wiederholte Teilung aus ihm entstehenden Enkelkerne, 5 Wanderkerne, 6 stationäre Kerne, 7 die durch Verschmelzung je eines Wander- und eines stationären Kerns entstehende Teilspindel, 8 aus ihr hervorgegangener neuer Nebenkern, 9 aus ihr hervorgegangener neuer Hauptkern, 10 neuangelegte Mundöffnung.

die Nebenkerne (s. Fig. 129) zu sogenannten Spindeln aus und teilen sich zweimal, so dass in jedem Individuum vier aus den Nebenkernen entstandene Kernspindeln vorhanden sind. Von diesen verschwinden je drei wieder; der übrig bleibende teilt sich nochmals; von den Teilstücken wandert je eines durch die an der Stelle der früheren Mundöffnungen entstandene Protoplasmabrücke in das andere Individuum hinüber und verschmilzt mit dem dort verbliebenen; dieser

Verschmelzungskern teilt sich abermals; aus dem einen Teil wird der neue Hauptkern, aus dem anderen der neue Nebenkern. Bald darauf stellt sich an den schon während der letzten Stadien wieder voneinander getrennten Individuen Vermehrung durch Teilung ein.

7. Noch näher den Vorgängen, welche als geschlechtliche Vermehrung bezeichnet werden, kommt die Fortpflanzungsweise bei *Volvox*, welchen wir früher (Kap. 12 § 11) als Beispiel einer Kolonie von differenten Individuen angeführt haben. In einzelnen Zellen entstehen Eier, in anderen Zoosporenbündel durch wiederholte Zellteilung (vgl. Fig. 51, S. 315). Die letzteren werden nach außen entleert und schwärmen vermöge ihrer Geißelbewegung im Wasser umher. Sie treffen dort gelegentlich gleiche Kolonieen, welche nach Entleerung ihrer Zoosporen in Zerfall begriffen sind, konjugieren mit einer Eizelle derselben, aus welcher dann durch Teilung und Differenzierung eine neue Kolonie hervorgeht. 7. Geschlechtliche Vermehrung.

Bei der geschlechtlichen Vermehrung im eigentlichen Sinne sind die unter sich verschiedenen Geschlechtsprodukte, aus deren Verschmelzung die neuen Individuen hervorgehen, nicht bloß morphologisch verschieden, sie haben auch physiologisch verschiedene Bedeutung. Das eine, welches Ei genannt wird, ist eine Zelle, aus der durch wiederholte Teilung und nachherige Differenzierung der Teilungszellen das neue Individuum sich entwickelt. Aber diese Entwicklung kann nur erfolgen, nachdem das Ei mit einer Fortpflanzungszelle der anderen Art, der Spermazelle, verschmolzen ist. Das Ei muss befruchtet werden. Die Befruchtung besteht in einer Konjugation der Eizelle und der Spermazelle; die geschlechtliche Fortpflanzung im engeren Sinne ist daher ein besonderer Fall derjenigen Vorgänge, welche wir im vorigen Paragraphen besprochen haben.

Ei und Spermazelle entstehen entweder in einem und demselben oder in zwei verschiedenen Individuen. Im letzteren Falle sprechen wir von getrennten Geschlechtern, vom weiblichen, welches das Ei, und vom männlichen, welches das Sperma liefert. In der Regel entstehen die Geschlechtsprodukte in besonderen Geschlechtsorganen, welche auch da, wo beide in demselben Individuum vorkommen, an verschiedenen Stellen des Organismus gelagert zu sein pflegen. Das männliche Geschlechtsprodukt, das Spermium, ist fast immer mit selbständiger Bewegungsfähigkeit ausgerüstet und wird häufig durch chemotaktische Anziehung zu dem ruhenden Ei hingeleitet. Mannigfaltige Hilfseinrichtungen befördern das Zusammentreffen, bei Pflanzen z. B. die Verbreitung des Samens durch den Wind, durch Insekten u. s. w., bei Tieren die verschiedenen Einrichtungen für die Begattung.

Entstehen die beiden Geschlechtsprodukte in einem und demselben Individuum, so sprechen wir von Zwitterbildung oder Hermaphroditismus. Bei der Zwitterbildung ist Selbstbefruchtung, Konjugation von Ei und Sperma desselben Individuums, möglich und zuweilen sogar die Regel. Meistens aber ist sie durch allerlei Umstände so erschwert, dass es leichter zur Konjugation zwischen den männlichen und weiblichen Geschlechtsprodukten, welche von verschiedenen Individuen stammen, kommt, was als Kreuzbefruchtung oder Wechselkreuzung bezeichnet wird.

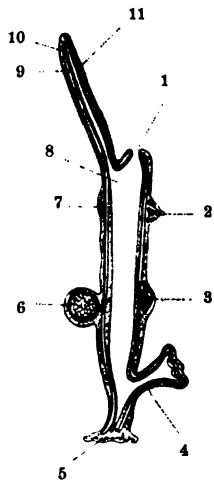


Fig. 130.

Schematischer Längsschnitt von Hydra. 1 Mundöffnung, 2 Hoden, 3 Ei, 4 Knospe, 5 Fußscheibe, 6 reifes Ei, 7 Hoden, 8 Magenhöhle, 9 Stützlamelle, 10 Entoderm, 11 Ektoderm.

Geschlechtliche Fortpflanzung kommt bei zahlreichen niederen Lebewesen neben den anderen Vermehrungsweisen, Teilung u. s. w., sehr häufig vor. Bei der schon mehrfach erwähnten *Hydra* z. B. sieht man neben den früher (§ 5) beschriebenen Knospen an einzelnen Stellen im Ektoderm die Bildung von Eiern, an anderen die von Samenfäden, so dass man nach Analogie höherer Tiere von Eierstock und Hoden sprechen kann (s. Fig. 130).

Die Eier entstehen als Anhäufung vieler Zellen, welche eine Hervorragung im Ektoderm, gewöhnlich näher dem festsitzenden Fuß des Polypen, bilden. Eine dieser Zellen wächst beträchtlich, nimmt eine amöbenähnliche Form an und vergrößert sich auf Kosten der anderen, welche zerfallen und deren Bruchstücke jener zur Nahrung dienen. Das so herangewachsene Ei zieht dann seine Pseudopodien ein, die es bedeckende Ektodermzellschicht platzt, so dass das Ei bloßgelegt wird. Im Hoden entwickelt sich aus jeder Zelle je ein Samenfaden mit Kopf und Schwanz, welche nach Durchbrechung der äußeren Zellen frei werden, im Wasser durch ihre Geißelbewegungen umherschwimmen und zur Konjugation mit einem Ei gelangen.

Bei anderen Coelenteraten bilden sich die Geschlechtsprodukte im Entoderm. Bei diesen wie bei Hydra bedarf es keiner besonderen Einrichtungen für die Entleerung der Geschlechtsprodukte. Wenn aber Ei und Samenzellen aus dem Mesoderm entstehen, dann kommen noch besondere Organe für die Entleerung und eventuell für die Begattung hinzu, welche in der Regel in ihrer Anlage mit den harnausscheidenden Organen verbunden sind. Daher der Name Urogenitalsystem.

Im Pflanzenreich sind die verschiedenen Arten der Fortpflanzung, ungeschlechtliche und geschlechtliche, vielfach nebeneinander vertreten.

Die männlichen Geschlechtsprodukte sind häufig durch Cilien beweglich (Schwärmsporen). Aber gerade bei den höchst organisierten Pflanzen, den Phanerogamen, bei welchen die Geschlechtsprodukte in den Blüten entstehen, ist dies nicht der Fall, so dass die männlichen Produkte, die Pollenkörner, der schon erwähnten Mitwirkung äußerer Hilfsmittel, Wind, Insekten u. s. w., bedürfen, um zu dem Ort, wo die Eier erzeugt werden, zu gelangen. Die Geschlechtsorgane sind entweder auf einem und demselben Individuum vereinigt (einhäusige Pflanzen), oder auf verschiedene verteilt (zweihäusige) und in einer oder in verschiedenen Blüten gelegen, die männlichen in den Staubfäden, die weiblichen im Stempel. Die im letzteren gebildeten Eier werden durch den in den Staubfäden gebildeten Pollen befruchtet, nachdem dieser auf die Narbe des Stempels übertragen worden ist. Hier wächst jede Pollenzelle zu einem Schlauch aus, welcher in den Stempel eindringt, worauf die Verschmelzung der beiden Geschlechtszellen erfolgt. Aus dem befruchteten Ei entsteht dann der Embryo, welcher mit den ihm beigegebenen Nährstoffen den Samen darstellt (vgl. Kap. 15 § 4).

Aus dem Gesagten geht hervor, dass zwischen den Konjugationsvorgängen und der eigentlichen geschlechtlichen Vermehrungsweise kein schroffer Gegensatz besteht, sondern dass beide durch allmähliche Übergänge miteinander verbunden sind. Man kann eine stetige Reihe aufstellen von der einfachen Vereinigung zweier ganz gleicher Zellen zu derjenigen, bei welcher ausgeprägt weibliche Zellen durch ausgeprägt männliche im strengsten Sinne befruchtet werden. Als einfachsten Fall können wir die Verschmelzung zweier unter sich gleicher Zellen ansehen, wie er bei der *Heteromita* und bei *Mucor* vorliegt. Dann kommen die Fälle von Konjugation zwar noch gleicher Protoplasmamassen, von denen aber die eine ruhend, die andere beweglich ist. Dies erinnert schon an die Geschlechtsunterschiede, indem bei ausgesprochener geschlechtlicher Vermehrungsweise immer der männliche Keim zu dem ruhenden weiblichen gelangen muss, was in den meisten Fällen durch eigene Bewegungsorgane des männlichen Keims ermöglicht wird. Die Konjugation der Vorticellen zeigt uns wieder eine neue Seite der geschlechtlichen Unterschiede. Die konjugierenden Teile sind erheblich voneinander in der Größe verschieden; der bewegliche, männliche Keim, die Mikrospore, ist kleiner als die ruhende weibliche Megaspore, ein Verhältnis, welches bei den echten Geschlechtsprodukten, Ei und Samenzelle, gleichfalls beobachtet wird. Bei *Paramaecium* endlich ist die hervorragende Rolle, welche die Nebenkerne bei der Konjugation spielen, gewissen Vorgängen bei der geschlechtlichen Befruchtung außerordentlich ähnlich.

8. Bevor wir auf die an die Befruchtung sich anknüpfende Entwicklung neuer Lebewesen eingehen, wollen wir die Frage erörtern, welche Bedeutung wir der Konjugation und der geschlechtlichen Vermehrung. 8. Bedeutung der geschlechtlichen Vermehrung.

lichen Fortpflanzung gegenüber den in § 5 besprochenen Arten der Vermehrung beizulegen haben. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden besteht offenbar in der Vereinigung zweier Zellindividuen. Die Vermehrung durch Teilung, Knospung und Sprossung ist im Grunde genommen nichts als eine Art des Wachstums. Das wird besonders deutlich, wenn wir das Wachstum eines Baumes mit der Vermehrung einfacherer Lebewesen, etwa Bakterien, vergleichen. In beiden Fällen entstehen aus einer Zelle durch wiederholte Teilungen viele Millionen. In dem einen Falle bleiben sie zusammen, in dem anderen wird jede Zelle sofort selbständig.

In beiden Fällen kann die Zunahme der lebenden Substanz nur durch Aufnahme von Stoffen nnd Assimilierung derselben vor sich gehen. Dadurch erhält alles neugebildete Protoplasma zugleich die Eigenschaften lebender Substanz. In einem großen, alten Baum[1]) sind zwar viele Zellen schon wieder abgestorben, aber alle diese und die zur Zeit noch lebenden erhielten doch ihre Lebenseigenschaften aus dem Samen, und der Embryo dieses Samens ist aus einer einzigen befruchteten Zelle entstanden.

Wenn wir nun sehen, dass bei Lebewesen, die sich für gewöhnlich durch Teilung vermehren, von Zeit zu Zeit Konjugation oder auch geschlechtliche Vermehrung eintritt, und dass dann die Vermehrung durch Teilung wieder mit erneuerter Intensität erfolgt, dass ebenso bei den sich nur geschlechtlich fortpflanzenden höheren Lebewesen auf die Befruchtung eine Periode sehr viel lebhafteren Wachstums folgt, wie sie die Entwicklung des neuen Individuums erfordert, so liegt der Gedanke nahe, dass die Fähigkeit zur Vermehrung durch Teilung im Verlauf des Lebens eine Abnahme erfahren mag, dass sie aber durch die Konjugation oder Befruchtung in irgend einer Art wiederhergestellt, dass durch sie eine Art von Verjüngung bewirkt werde.[2])

Wir sind ganz außer stande zu sagen, wie diese Wiederbelebung zu stande kommt. Alles, was wir wissen, beschränkt sich auf die Thatsache, dass die Vereinigung nur zwischen Individuen oder Ab-

---

[1]) Einzelne Bäume können ein Alter von mehr als tausend Jahren erreichen.

[2]) In der Anmerkung zu S. 308 wurde darauf hingewiesen, dass bei der Teilung immer ein Bruchteil der Leibessubstanz in die Nachkommenschaft übergeht. Das gilt auch für die geschlechtliche Vermehrung, nur ist in diesem Fall der Bruchteil viel kleiner. Wenn, wie es nach den Beobachtungen über Konjugation bei sehr vielen Protisten scheint, dieselbe bei allen Lebewesen von Zeit zu Zeit eintreten muss, um die Erhaltung der Arten zu sichern, dann würde der Unterschied zwischen diesen und den sich auf geschlechtlichem Wege vermehrenden Lebewesen nicht so groß sein, als es uns zuerst erschien. Auch die ersteren würden dann nicht absolut unsterblich sein, sondern wie die anderen altern und nur in den aus ihnen hervorgegangenen Nachkommen weiter leben.

kömmlingen von Individuen derselben Art oder doch wenigstens systematisch sehr nahestehender Arten stattfinden kann, dass aber innerhalb dieser Beschränkung die Wiederbelebung um so vollkommener zu sein scheint, je weniger nahe verwandt die beiden miteinander konjugierenden Elemente sind. Zwar sind die weitverbreiteten Ansichten über die Schädlichkeit der Inzucht sicher übertrieben, da vielfach in der Natur Befruchtung zwischen nahen Verwandten vorkommt. Trotzdem aber ist die Kreuzung, wie man im Gegensatz zur Inzucht die Konjugation zwischen Abkömmlingen, die von verschiedenen Vorfahren stammen, nennt, in vielen Fällen sicher von Vorteil für die Nachkommenschaft.[1])

Dementsprechend sehen wir denn auch, dass vielfach durch allerlei Umstände die Konjugation von Elementen gleicher Herkunft verhindert und die Kreuzung begünstigt wird. Bei Blütenpflanzen sind solche Einrichtungen sehr verbreitet. Doch kommt auch Selbstbestäubung bei Zwitterblüten oft genug ohne schädlichen Einfluss vor. Bei manchen Konjugaten kommt, wie wir gesehen haben, (s. Fig. 127 *B*) Konjugation zwischen benachbarten Zellen desselben Algenfadens, also Abkömmlingen einer und derselben Spore, vor. Bei den Vorticellen dagegen werden die frei umherschwimmenden Mikrozoide mindestens eben so leicht zu einer Konjugation mit fremden Makrozoiden gelangen als mit denen des Stocks, aus dem sie hervorgegangen sind. Das Gleiche gilt von allen durch Geißeln oder Wimpern sich bewegenden Gameten. Kurz, wir dürfen annehmen, dass die Vermischung von Gameten verschiedener Abstammung überall dazu beiträgt, im Laufe der Zeit entstandene einseitige Abweichungen von den durchschnittlichen Artcharakteren auszugleichen, und dass dies für die Erhaltung der Lebewesen und ihre normale physiologische Leistungsfähigkeit günstig wirkt.

9. Der durch die Befruchtung eingeleiteten Entwicklung eines neuen Individuums muss eine Veränderung im Ei vorhergehen, welche Reifung des Eis genannt wird. Sie ist bei manchen Eiern **9. Kernteilung.**

[1]) Die herrschenden Anschauungen über die schädlichen Wirkungen der Inzucht sind auf die Erfahrungen der Tierzüchter und Gärtner, sowie auf Beobachtungen über Verwandtenehen bei Menschen gegründet. Es ist aber zu beachten, dass es sich dabei um Lebewesen handelt, welche in mancher Beziehung von den Zuständen der in natürlichen Verhältnissen lebenden Wesen abweichen. Dass die Nachkommen von zwei Lebewesen, welche beide in gleicher Richtung von dem normalen Zustand abweichen, also eigentlich schon als krank gelten könnten, diese Abweichung in erhöhtem Maße zeigen können, ist nicht überraschend. Es giebt aber gut beglaubigte Fälle, wo selbst in mehreren aufeinanderfolgenden Generationen wiederholte Geschwisterehen, also Inzucht in dem höchsten denkbaren Grade, durchaus gesunde Nachkommenschaft geliefert haben.

in ihrem ganzen Verlauf gut zu beobachten und wird vermutlich bei allen in ähnlicher oder gleicher Weise vor sich gehen. Die Kernmembran wird aufgelöst; der Kern selbst nimmt Spindelform an, wandert an die Peripherie des Eis, wo eine kleine Hervorragung entsteht, welche sich mitsamt der einen Hälfte des Kerns als sogenannte erste Polzelle ablöst. Sodann wiederholt sich der Vorgang; es wird eine zweite Polzelle ausgesondert. Der übrig bleibende Rest des Kerns stellt dann den Kern des reifen Eis

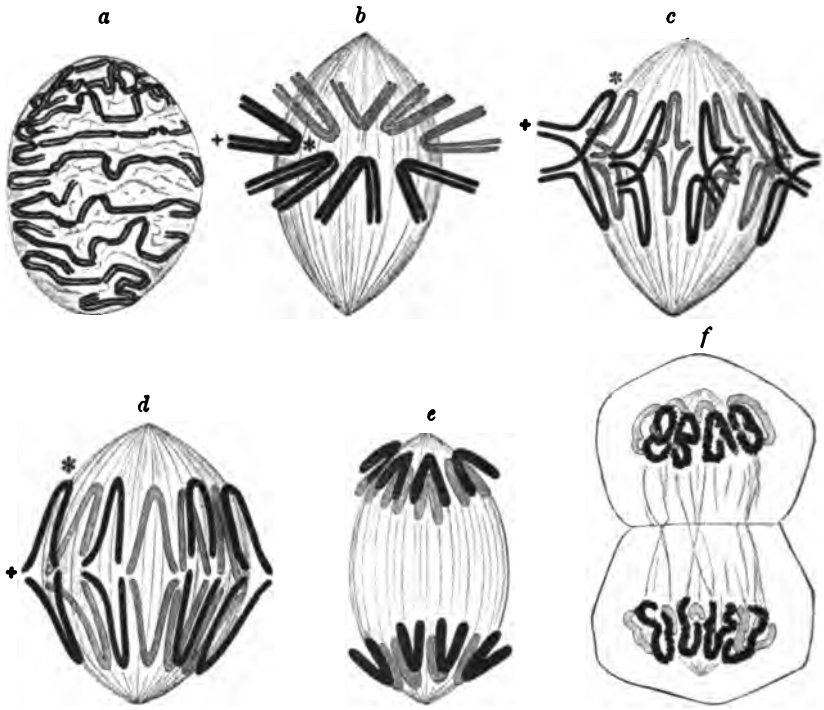


Fig. 131.

Schematische Darstellung der mitotischen Kernteilung. In *a* ist die chromatische Substanz im Knäuelstadium; *b* Monasterform, die Schleifen beginnen sich zu spalten, *c* und *d* die Schleifen auseinander gerückt, *e* Doppelstern, *f* Knäuelformen in den Kernen der beiden neuen (von Membranen umgebenen) pflanzlichen Zellen.

dar. In dieses dringt das Spermium ein; der Eikern verschmilzt mit dem Spermiumkern; das so befruchtete Ei kann sich weiter teilen und die Furchungskugel bilden, aus welcher der Embryo, die Anlage des neuen Lebewesens, hervorgeht.

Die Zellteilung vollzieht sich unter sehr eigentümlichen Erscheinungen, welche wir wenigstens kurz andeuten wollen. Von den beiden Hauptbestandteilen des Kerns (vgl. Kap. 12 § 3) sammelt sich das Chromatin zunächst in einer bestimmten Anzahl unter sich

gleicher Fadenabschnitte, die meist schleifenähnlich gebogen sind und daher als Chromatinschleifen bezeichnet werden (s. Fig. 131, S. 544). Zu gleicher Zeit löst sich die Kernmembran auf; daher kann man von den nun auftretenden Gebilden, mit Ausnahme der durch ihre besondere Färbbarkeit kenntlichen Chromatinschleifen, nicht mit Bestimmtheit aussagen, wie weit sie aus den Kernsubstanzen und wie weit sie aus dem Protoplasma stammen. Neben den Chromatinschleifen tritt zunächst eine aus feinen Fäden bestehende Spindel auf, die jedenfalls zum Teil aus der achromatischen Substanz des Kernes stammt. An ihren Enden werden zwei kleine Polkörperchen von starkem Lichtbrechungsvermögen sichtbar. In manchen Fällen hat man ihre Herkunft aus einem schon in der ruhenden Zelle vorhandenen Centrosoma beobachtet, welches als stark lichtbrechendes Körperchen in der Nähe des Kerns im Protoplasma liegt, zuweilen auch gleichsam verborgen in einer Einbuchtung des eigentlichen Kerns. Nun ordnen sich Polkörperchen, Spindelfasern und Chromatinschleifen so, dass die letzteren genau in der Mittelebene der Spindel einen Stern bilden, Monasterstadium (Fig. 131, b). Dann spaltet sich jede Chromatinschleife der Länge nach in zwei Hälften, die nach den beiden Polkörperchen zu auseinanderweichen (Fig. 131 c.) Letztere entfernen sich immer weiter voneinander, wobei die achromatische Spindel immer länger wird und die Chromatinschleifenhälften sich immer mehr voneinander entfernen (Fig. 131, d). Wenn sie sich wieder an jedem Polkörperchen sternförmig geordnet haben (Diasterstadium Fig. 131 e), beginnt die Teilung des Protoplasmas, mit einer Einschnürung entsprechend der Mittelebene der achromatischen Spindel oder auch, bei Pflanzen, mit einer Membranbildung genau in dieser Ebene. Die beiden Hälften der Chromatinschleifen bilden sich jede zum Chromatingerüst eines neuen Kerns um, der auch bald wieder von einer Kernmembran begrenzt erscheint. Die Polkörperchen bleiben zuweilen als Centrosomen der beiden jungen Zellen deutlich, meistens aber kann man über ihr weiteres Schicksal und das der Spindelfasern, wie weit sie in den neuen Kern aufgenommen oder im Protoplasma aufgelöst werden, nichts Genaues erkennen. Der Kernteilung folgt nun die vollständige Trennung der beiden Protoplasten durch Abschnürung oder Bildung einer neuen Zellmembran.

Diese Art der Kernteilung wiederholt sich auch bei den zahlreichen Zellteilungen, welche im Verlauf der ferneren Entwicklung vorkommen. Man bezeichnet sie als Karyokinese oder Mitose und nennt die so vorsichgehende Zellteilung eine mitotische. Ausnahmsweise kommt auch eine amitotische Zellteilung vor, bei welcher der Kern und nach ihm das Protoplasma sich durch ein-

fache Einschnürung teilen. Es scheint jedoch, dass dies nur bei solchen Zellen geschieht, welche bald darauf dem Untergang anheimfallen oder doch in einen Ruhezustand übergehen und keine fernere Teilung mehr durchzumachen haben.

Nach Ausstoßung der ersten Polzelle kann unter besonderen Umständen bei manchen Lebewesen auch ohne nachfolgende Befruchtung eine Weiterentwicklung bis zur Bildung eines neuen Lebewesens eintreten, was als Parthenogenesis bezeichnet wird. Sie kommt nur ausnahmsweise bei Pflanzen (bei *Chara crinita*), dagegen vielfach bei Arthropoden vor. Bei den Bienen legt die Königin zweierlei Eier ab, befruchtete, aus welchen sich weibliche Bienen, Arbeiterinnen und Königinnen, und unbefruchtete, aus welchen sich männliche Bienen, Drohnen, entwickeln. Bei den Daphniden (wasserbewohnenden Branchiopoden) werden während des Sommers nur parthenogenetisch sich entwickelnde Weibchen erzeugt; erst die letzte Generation jedes Jahres besteht aus Männchen und Weibchen. Aus den befruchteten, dickschaligen Wintereiern entsteht dann im nächsten Sommer eine neue Generation, welche dieselben Geschlechterfolgen erzeugt. Ähnlich ist es bei den Aphiden oder Blattläusen.

Die Parthenogenese ist also eine Art ungeschlechtlicher Fortpflanzung, welche der Vermehrung durch Knospung verglichen werden kann.

10. Entwicklung.

10. Von dem Befruchtungsvorgang bis zur Erlangung seiner endgiltigen Form, in welcher ein Lebewesen seinen Vorfahren in Form und Organisation fast vollkommen gleicht, durchläuft es eine Reihe von Zwischenstufen, mit deren Schilderung sich die Entwicklungsgeschichte befasst. Bei vielen Tieren geht die Entwicklung oder, wie sie auch genannt wird, die Ontogenie im Innern des mütterlichen Organismus vor sich. welcher das noch nicht selbständiger Ernährung fähige neue Lebewesen mit Nahrung u. s. w. versorgt. In anderen Fällen löst sich das befruchtete Ei sofort nach der Befruchtung oder erst, nachdem es die ersten Entwicklungsstufen durchlaufen hat, vom mütterlichen Organismus los, von welchem es häufig einen gewissen Betrag von Nahrungsstoffen (Reservestoffe der Samen bei den Pflanzen, Nahrungsdotter der Eier bei Tieren) mit auf den Weg bekommt. Zuweilen wird aber auch das neue Lebewesen zu selbständiger Bewegung und Ernährung fähig, ehe es seine vollkommene Entwicklung erreicht hat. Es macht dann in freiem Zustand eine Reihe von Veränderungen in seinem Bau, seiner Organisation, seiner Lebensweise durch, welche man als Metamorphose bezeichnet. Am bekanntesten ist die Metamorphose der Insekten, bei denen drei Formenreihen, die der Larve[1])

[1]) Bei Schmetterlingen ist dies die Raupe.

Puppe und Imago (das fertig ausgebildete Insekt) aufeinander folgen, sowie die Metamorphose der Amphibien, wo die Larven ausschliesslich im Wasser leben und mit Kiemen atmen, während die ausgebildeten Tiere zum Teil Lungenatmer sind (vgl. Kap. 2 § 15 und Kap. 14 § 8 ff.).

Zuweilen sind die Larven frei beweglich, während die ausgebildeten Tiere festsitzen. Ein Beispiel dieser Art haben wir schon bei den Vorticellen kennen gelernt, bei welchen die „Flimmerlarven" durch Teilung der Glocke entstehen, sich dann festsetzen und zur gestielten Vorticelle auswachsen (vgl. § 6). Ähnlich ist es bei vielen niederen Pflanzen. Auch bei Würmern und Crustaceen ist die Metamorphose weit verbreitet. Die Larvenformen weichen in ihrer Organisation meist erheblich von dem ausgebildeten Lebewesen ab und gleichen häufig ganz anderen Typen oder Kreisen von Lebewesen. Ebenso ist es mit den Entwicklungsformen, welche ohne eigentliche Metamorphose, d. h. also vor der Trennung vom mütterlichen Organismus, während der Entwicklung durchlaufen werden. So sehen wir bei den Embryonen von Vögeln und Säugetieren mit Einschluss des Menschen die Anlagen des Atmungs- und Zirkulationsapparats in einer Weise ausgebildet, welche für Tiere mit Kiemenatmung charakteristisch ist. Während aber bei diesen die betreffenden Organe erhalten bleiben, bilden sie sich bei den später mit Lungen atmenden Tieren zurück oder werden in ganz anderen Zwecken dienende Organe umgewandelt. Derartige Erscheinungen sind wichtig für die Feststellung der Verwandtschaftsverhältnisse zwischen verschiedenen Gruppen von Lebewesen, worauf wir im folgenden Kapitel zurückkommen werden.

Larven erzeugen niemals Geschlechtsprodukte, können also keine Nachkommenschaft hervorbringen. Auch da, wo die Lebewesen bei ihrer Loslösung (Geburt) schon vollkommen die Formen und die allgemeine Organisation der ausgebildeten Lebewesen haben, tritt doch die Geschlechtsreife erst nach fast oder ganz vollendeter Beendigung des Wachstums ein. Abweichend von dieser Regel findet man bei vielen niederen Pflanzen und Tieren, dass verschieden gestaltete Generationen einander ablösen, von denen die eine auf geschlechtlichem Wege entsteht, während die so erzeugte Generation die ihr folgende auf ungeschlechtlichem Wege hervorbringt. Zuweilen folgen sich auch zwei ungeschlechtlich entstehende Generationen, so dass erst die vierte Generation der ersten in Form und Organisation gleich ist. Wollte man die abweichend gestalteten, aus befruchteten Eiern hervorgegangenen Generationen als Larven ansehen, so müsste man diesen die Befähigung zu ungeschlechtlicher Vermehrung zuerkennen.

Man nennt diese Art der Fortpflanzung Generationswechsel, weil geschlechtlich und ungeschlechtlich erzeugte Generationen ver-

schiedener Form abwechseln. Bei der in Fig. 74, S. 350 abgebildeten Hydromeduse *Campanularia* z. B. lösen sich von den Polypen durch Knospung entstehende Medusen ab, schwimmen umher, werden geschlechtsreif und erzeugen aus ihren befruchteten Eiern Flimmerlarven, welche sich später festsetzen und wieder zu Polypen werden. Bei den Farnen entstehen an den Blättern auf ungeschlechtlichem Wege Sporen, aus welchen durch Keimung Pflanzen hervorwachsen, die der Farnpflanze ganz unähnlich sind. Aus diesem sogenannten Prothallium, welches seinerseits Eier und Spermien erzeugt, entwickelt sich nach der Befruchtung eine neue Farnpflanze.

11. Epigenesis und Evolution.

11. Wir können nicht auf eine genauere Darstellung aller der verschiedenen Erscheinungen bei der Entwicklung der Lebewesen eingehen, müssen uns vielmehr mit den vorhergegangenen Andeutungen der Hauptpunkte begnügen. Auf einen wichtigen Vorgang müssen wir jedoch noch einmal zurückkommen, da er eine wesentliche physiologische Bedeutung zu haben scheint. Schon bei der Konjugation der Paramaecien, noch mehr bei der eigentlichen Befruchtung, der Konjugation von Ei und Spermium, sind wir auf das Verhalten der Kerne aufmerksam geworden. Als das Wesentlichste bei jeder Befruchtung ist hervorzuheben, dass der neue Furchungskern, aus dessen weiterer Teilung alle Kerne des neuen Individuums hervorgehen, genau gleiche Massen der väterlichen und mütterlichen Chromatinsubstanz erhält. Von den dabei auftretenden Polkörperchen scheint das eine aus der Eizelle, das andre aus dem Mittelstück des Spermiums (vgl. Fig. 59, S. 332) zu stammen. Diese möglichst gleichmäßige Verteilung väterlicher und mütterlicher Substanzanteile auf das befruchtete Ei legt die Vermutung nahe, dass durch sie die Übertragung der elterlichen Eigenschaften auf die Nachkommen vermittelt wird. Alle Nachkommen gleichartiger Eltern weisen innerhalb des Rahmens der Artcharaktere ein Gemisch jener kleinen Besonderheiten auf, welche jedes Individuum von anderen der gleichen Art unterscheiden. Jedes Geschöpf gleicht bald mehr dem Vater, bald mehr der Mutter, aber es hat immer von jedem etwas. Man nennt diese von den Eltern übernommenen Eigenschaften ererbte und unterscheidet von ihnen die etwa schon bei der Geburt vorhandenen individuellen und die erst im Laufe des Lebens erworbenen Eigenschaften. Die Frage, wie weit auch die letzteren vererbt werden können, ist in den letzten Jahren Gegenstand lebhafter Erörterungen gewesen. Das thatsächlich vorliegende Erfahrungsmaterial reicht aber zu einer sicheren Beantwortung der Frage nicht aus.

In dem befruchteten Ei sind offenbar die Eigenschaften vorhanden, welche die Entwicklung des neuen Lebewesens bestimmen.

Sind die beiden Hälften, aus deren Verschmelzung es entstanden ist, von derselben Art[1]), dann wird auch das neue Lebewesen die gleichen Artcharaktere aufweisen. Sind sie verschieden, so wird das aus ihnen sich entwickelnde Lebewesen, falls überhaupt Entwicklung eintritt, ein Gemisch der Artcharaktere zeigen. Solche zwischen zwei gut bekannten Arten stehende Lebewesen nennt man Bastarde. Aus ihnen können unter Umständen neue Arten entstehen. Es ist wichtig, zu beachten, dass ein so entstandenes Lebewesen nicht nur aus den beiden verschmolzenen Stoffmengen besteht. Was aber auch immer das sich entwickelnde Ei von außen aufnimmt, wie sehr es auch damit seine Masse vergrößert, es verwandelt alles Aufgenommene durch Assimilation in ihm gleichartige lebende Substanz. Diese Verwandlung betrifft nicht nur, wie bei den gewöhnlichen Ernährungsvorgängen, die chemische Beschaffenheit der aufgenommenen Nährstoffe (vgl. Kap. 17, § 12). Auch die Gesamtheit aller physiologischen Eigenschaften, mit Einschluss nicht nur der Fähigkeit, sondern auch des Zwanges, sich zu bestimmten Formen mit bestimmten Eigenschaften zu entwickeln, geht auf die ganze Masse des allmählich wachsenden Lebewesens über. Man kann das auch so ausdrücken, dass man sagt, in dem befruchteten Ei sei schon die Anlage des ganzen zukünftigen Lebewesens vorgebildet. Es bedarf nur noch der Entfaltung, um es sichtbar in die Erscheinung treten zu lassen. Diese sogenannte evolutionistische Auffassung galt bis etwa zur Mitte des 18. Jahrhunderts nicht nur bildlich; sie wurde ganz wörtlich genommen. Man stellte sich thatsächlich vor, dass im Ei oder im Sperma alle Teile des zukünftigen Lebewesens gleichsam ganz im Kleinen schon vorhanden seien. Ihr stellte Kaspar Friedrich Wolff (1735—1794) die Theorie der Epigenesis entgegen, nach welcher aus dem indifferenten Stoffmaterial des Eies die Organe durch allmähliche Neubildung erst hervorgehen. Obgleich seitdem die von Wolff begründete Entwickelungsgeschichte ungeheure Fortschritte gemacht hat, sind wir zwar imstande, sehr viel mehr einzelne Thatsachen genauer als früher anzugeben, über den Zusammenhang derselben sind wir aber dennoch nicht genügend unterrichtet, um sie in einer befriedigenden Weise theoretisch zusammenzufassen. Daher stehen auch heute noch eine Anzahl von hypothetischen Vorstellungen nebeneinander, welche sich bald mehr der evolutionistischen, bald mehr der epigenetischen Auffassung anschließen, welche aber bei näherer Zergliederung sich meistens als mehr oder weniger glücklich gewählte Gleichnisse oder als reine Umschreibungen der Thatsachen ausweisen. Die Erörterung solcher Hypothesen kann zur Klärung

[1]) Der Begriff Art ist im Sinne der Systematik zu verstehen. Näheres s. im folgenden Kapitel.

der Anschauungen beitragen und damit dem Fortschritt der Wissenschaft förderlich sein. In einer Darstellung, welche sich auf Mitteilung der wichtigsten Ergebnisse der Forschung beschränkt, muss es aber genügen, kurz auf sie hinzuweisen.

12. Vererbungstheorieen.

12. Die Frage, auf welche Weise die Übertragung von Eigenschaften bei der Vererbung zu stande kommt, ist eine der schwierigsten, welche die Lebenserscheinungen darbieten. Der Wunsch, die Lebenserscheinungen dem Verständnis näher zu bringen, hat seit den ältesten Zeiten die Denker veranlasst, Hypothesen aufzustellen, welche immer den Grundanschauungen entsprachen, die zu den betreffenden Zeiten die Geister beherrschten. So erklärt es sich, dass alle neueren Hypothesen in diesem Gebiete Nachbildungen der Anschauungen sind, welche sämtliche Erscheinungen der materiellen Körper auf die Molekeln und ihre Bewegungen zurückzuführen versuchen (vgl. Kap. 4). Wie man sich jeden Körper als zusammengesetzt aus Molekeln vorstellt, so denken sich alle diejenigen, welche in neuerer Zeit Hypothesen über die lebende Substanz vorgetragen haben, auch diese zusammengesetzt aus kleinsten Teilchen, die selbst schon alle wesentlichen Lebenseigenschaften haben. Diesen hypothetischen Teilchen wurden verschiedene Namen beigelegt; der Grundgedanke ist aber bei allen diesen Hypothesen immer der gleiche.

Allerdings muss man sich jene hypothetischen Teilchen sehr verschieden von den physikalischen Molekeln vorstellen. Erstlich sollen sie sehr viel komplizierter in ihrem Bau sein und zweitens, eben infolge dieses komplizierteren Baues, auch viel größer. Sie sind sozusagen Molekeln höherer Ordnung, jede von ihnen bestehend aus einer großen Zahl von physikalischen Molekeln von verschiedener chemischer Beschaffenheit, sodass in ihnen auch allerlei chemische Prozesse sich abspielen können.[1]) Trotz ihrer relativen Größe bleiben die organischen Molekeln unterhalb der Grenze mikroskopischer Sichtbarkeit. Sie dürfen daher auch nicht mit den im Kap. 13, § 1 erwähnten Struckturelementen der Zellen verwechselt werden, welche wir als Organe der Zelle ansehen; vielmehr soll man sich vorstellen, dass diese Zellorgane selbst schon aus jenen hypothetischen Teilchen zusammengesetzt sind.

---

[1]) Unter denen, welche derartige Hypothesen mehr oder weniger im einzelnen ausgearbeitet haben, hat vornehmlich Naegeli über die organischen Molekeln, aus denen er sich die lebende Substanz aufgebaut dachte und welche er Micellen nannte, etwas genauere Vorstellungen entwickelt. Er lehnte sich dabei an die in Kap. 7 erörterten Eigenschaften der kolloiden Substanzen an. Ihm schlossen sich Andere zum Teil ohne weiteres an, während manche Autoren sich damit begnügen, solche Teilchen anzunehmen, ohne sich auf Erörterungen über ihren Bau einzulassen.

Den physikalischen Molekeln schreiben wir die allen Körpern gemeinsame Eigenschaft der Schwere zu; sie sind aber außerdem, je nach ihrer chemischen Beschaffenheit, verschieden. Den hier besprochenen Teilchen kann man wegen ihrer komplizierten Zusammensetzung allerlei Eigenschaften beilegen. So gelangt man zu Vorstellungen über die Möglichkeit der mannigfaltigen Vorgänge in den verschiedenen Zellen und insbesondere, indem man in den Keimzellen noch Teilchen mit ganz eigenartigen Eigenschaften annimmt, zu Vorstellungen über die Möglichkeit der Entwicklung und Vererbung. Da die Teilchen aus vielen Molekeln zusammengesetzt und darum teilbar sind, so kann man sich auch vorstellen, dass sie ihre Eigenschaften auf die aus ihnen entstehenden Teilprodukte übertragen.

Nach den von uns vertretenen Grundsätzen, welche im Kap. 2 entwickelt sind, können wir die Berechtigung zur Aufstellung solcher Hypothesen zugeben. Wir sind aber auch verpflichtet, sie auf ihre Brauchbarkeit und Zulänglichkeit zu prüfen. In dieser Hinsicht müssen wir zweierlei hervorheben. Erstens die physikalische Molekularhypothese gestattet wegen der Einfachheit der ihr zu grunde liegenden Annahmen eine Prüfung aller aus ihr gezogenen Schlussfolgerungen durch Vergleichung derselben mit den Einzelthatsachen. Jede so festgestellte Übereinstimmung dient zur Befestigung der inneren Wahrscheinlichkeit der Hypothese. Bei den ihr nachgebildeten Hypothesen von den lebenden Teilchen ist eine solche Prüfung unmöglich. Bei der Mannigfaltigkeit von Eigenschaften, welche notwendigerweise den hypothetisch angenommenen Teilchen zugeschrieben werden, kann man wohl allerlei Folgerungen ziehen, welche mit den Thatsachen einigermaßen in Übereinstimmung sind, man vermag aber nicht zu zeigen, dass sie mit logischer Notwendigkeit aus ihnen folgen oder dass sie jeder anderen Hypothese widersprechen. Hypothesen dieser Art genügen nicht ganz den Forderungen, welche wir im zweiten Kapitel aufgestellt haben. Sie sind als erste Versuche anzusehen, sich in dem Gewirre bisher bekannter Thatsachen zurecht zu finden. Diese Thatsachen reichen aber noch nicht zur Aufstellung ganz bestimmter, durch Einfachheit und vollkommene Klarheit sich allgemeiner Zustimmung empfehlender Hypothesen aus. Die Erscheinungen, um deren Erklärung es sich handelt, sind zu verwickelt, als dass wir den Zusammenhang zwischen ihnen gut übersehen könnten. Es muss der weiteren Forschung überlassen werden, diesen soweit aufzuklären, dass wir in den Stand gesetzt werden, fester begründete und weniger unbestimmte Hypothesen aufzustellen.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Ursprung des Lebens.

1. Übergang toter Substanz in lebende.

1. In den vorhergehenden Kapiteln haben wir gesehen, wie fortwährend lebende Substanz in tote Auswurfstoffe übergeht und tote Substanz wieder in lebende umgewandelt wird. Letzterer Vorgang findet nur auf dem Wege der Assimilation statt; nur lebende Substanz kann tote in lebende umwandeln. Dadurch entsteht die Frage, wie das, was wir Leben nennen, zuerst entstanden sein kann.

Die paläontologischen Funde zeigen zwar, dass lebende Wesen schon vor undenklichen Zeiten auf der Erde bestanden haben müssen, immerhin aber muss es eine Zeit gegeben haben, wo Leben der Art, wie wir es jetzt vor uns haben, unmöglich war. Schon die hohe Temperatur, welche die Erde früher gehabt haben muss (vgl. Kap. 17, § 15) führt zu diesem Schluss, da keines der uns bekannten Lebewesen bei einer Temperatur von über 50—60° bestehen kann. Es würde jedoch genügen, anzunehmen, dass irgend einmal, nachdem die Temperatur unter jene Grenze gefallen war, der Wasserdampf sich zu flüssigem Wasser verdichtet und die Atmosphäre eine der jetzigen ähnliche Beschaffenheit angenommen hatte, ein einziges Lebewesen allereinfachster Art auf irgend eine Weise entstanden oder von irgendwoher auf die Erde gelangt sei, um es denkbar zu machen, dass aus ihm alle späteren Lebewesen durch Vermehrung und allmähliche Differenzierung entstanden seien.

Die Annahme eines außerirdischen Ursprungs des Lebens auf der Erde enthält nichts Widersinniges. Ob einer der zahllosen Weltkörper, welche außer der Erde im Weltenraume sich bewegen, von Lebewesen bewohnt ist, wissen wir nicht. Wir dürfen behaupten, dass Weltkörper, welche ganz andere Bedingungen aufweisen als unsere Erde, keine Lebewesen gleicher Art wie die uns bekannten beherbergen können. Ob es Lebewesen giebt, die keines Sauerstoffes bedürfen, die ohne Wasser, bei Temperaturen tief unter dem Nullpunkt und bei Abwesenheit vieler andrer, für unsere Lebewelt notwendiger Bedingungen bestehen können,

— darüber zu spekulieren hat keinen Zweck. Wir können uns unter solchen ganz anders gearteten Wesen nichts Bestimmtes denken; es wird deshalb immer nur Sache der subjektiven Auffassung sein, wie man sich zu jener Frage stellt.

Wenn aber, wie es wahrscheinlich ist, einzelne Weltkörper sich in einem der Beschaffenheit der Erde ähnlicheren Zustand befinden oder früher befunden haben, dann können oder konnten auf ihnen Lebewesen von der Art der uns bekannten bestehen. Und da nachweislich zuweilen solche Weltkörper oder Teile derselben in den Bereich der Erde gelangen, so könnten mit diesen auch Lebewesen oder Keime von solchen in lebens- und vermehrungsfähigem Zustand auf die Erde gelangt sein.

Aber wenn wir auch diese Möglichkeit zugeben, so befriedigt sie uns nicht. Wenn unsere Lebewelt von solchen eingewanderten Lebewesen abstammt, so fragen wir weiter, woher denn diese stammen. Sind sie irgend einmal aus nicht lebender Materie entstanden, dann können die Lebewesen der Erde auch unter gleichen Bedingungen auf der Erde selbst entstanden sein. Dann bedürfen wir der „Meteorhypothese“ nicht.

Die „Belebung“ der Materie, das Entstehen lebender Substanz aus nicht lebender, findet immer nur innerhalb der Lebewesen statt; sie setzt das Bestehen lebender Wesen schon voraus. Aus Kohlendioxyd, Wasser und Nitraten kann die Pflanze lebendes Protoplasma erzeugen, aber nur in ihren lebenden, chlorophyllhaltigen Zellen. Aus toten Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten kann das Tier lebendes Protoplasma bilden, aber nur, solange es selbst lebt. Ein totes Lebewesen assimiliert nicht. Was lebt, ist in einem Lebewesen oder als Teil eines solchen entstanden. Omne vivum e vivo.[1])

Die Ueberzeugung von der unbedingten Giltigkeit dieses Satzes ist freilich erst das Ergebnis neuerer Erfahrungen. Noch Aristoteles nahm an, dass Schlangen, Eidechsen, Kröten aus feuchtem Schlamm entstehen können. Spätere Naturforscher glaubten eine derartige Entstehung auf Schnecken, Flöhe. u. dergl. einschränken zu müssen. Als auch das sich als Täuschung erwiesen hatte, sah man nur noch in dem massenhaften Auftreten von niederen Organismen in sogenannten Aufgüssen (daher der Name Infusorien) einen Beweis des Entstehens lebender Wesen aus totem Material und endlich schränkte man die Möglichkeit des Entstehens auf niedere Pilze, Bakterien u. dergl. ein.

[1]) Der Satz ist eine Nachbildung des von Harvey aufgestellten Satzes „omne vivum ex ovo“. In dieser Form bezieht er sich nur auf die Erscheinungen der Fortpflanzung, der Entstehung lebender Individuen aus ihnen gleichartigen Vorfahren. Er gilt auch streng nur für die höheren Lebewesen, da bei niederen andere Fortpflanzungsarten als durch Eier vorkommen (vgl. Kap. 20).

2. Urzeugung.

2. Übergießt man Heu, Fleisch oder ähnliche organische Substanzen mit Wasser und lässt dieselben längere Zeit stehen, so trübt sich die Flüssigkeit und geht zuletzt in Fäulnis über. Bei mikroskopischer Untersuchung findet man in dem Wasser zahlreiche Lebewesen, namentlich Bakterien, daneben gewöhnlich auch verschiedene Infusorien. Letztere erscheinen häufiger, wenn man den Schlamm aus Pfützen, Gartenerde oder Mist, den Rückstand, welcher in den Regenrinnen von Häusern zurückbleibt, u. dergl. mit Wasser stehen lässt. Da die Bakterien, Infusorien u. s. w., die man in diesen Fällen findet, anfangs nicht vorhanden waren, so nahm man an, sie seien aus den sich zersetzenden organischen Massen entstanden, die tote Substanz sei in lebende umgewandelt worden. Man nannte daher diese vermeintliche Erzeugung von Lebewesen Urzeugung, Generatio spontanea oder aequivoca, wofür neuerdings die Namen Abiogenese und Archigonie in Vorschlag gebracht worden sind.

Es ist heutzutage nicht schwer, die Unrichtigkeit dieser Ansicht darzuthun. Wir wissen jetzt, dass einzelne der später vorgefundenen Lebewesen oder deren Keime entweder schon vorher in dem Wasser und den organischen Substanzen der Infusion vorhanden waren, oder dass sie aus der Luft in sie hineingelangt sind. Solche vereinzelte Individuen und noch mehr ihre meist sehr winzigen Keime können sich auch sorgfältiger mikroskopischer Untersuchung entziehen. Wenn sie sich aber massenhaft vermehrt haben, was bei der reichlich vorhandenen Nahrung um so schneller erfolgt, je günstiger die anderen Bedingungen, namentlich eine passende Temperatur, sind, so werden in jedem Tropfen der Flüssigkeit so viele vorhanden sein, dass sie nicht mehr übersehen werden können, und auch ihre Wirkungen, die sich in der Fäulnis oder anderen Umsetzungen äußern, werden leicht nachgewiesen werden können.

Dass dem so ist, haben viele Forscher, von denen ich nur Helmholtz und Pasteur nennen will, durch sorgfältige und völlig beweiskräftige Versuche dargethan. Um jede Entwickelung von Lebewesen in Infusionen oder Flüssigkeiten, welche die zur Ernährung derselben notwendigen Substanzen enthalten, vollkommen auszuschließen, müssen zwei Bedingungen, diese aber gut und sicher erfüllt sein: Die benutzten Gefäße und Materialien müssen frei von lebenden Wesen und ihren Keimen sein und es muss unmöglich gemacht werden, dass solche nachträglich von außen hineingelangen.

Beide Bedingungen sind nicht leicht zu erfüllen. So erklärt es sich, dass noch immer wieder einzelne Experimentatoren glauben, die Urzeugung durch ihre Versuche „ganz unzweifelhaft“ bewiesen zu

haben. Demgegenüber muss um so nachdrücklicher betont werden, dass in allen sorgfältig und gewissenhaft durchgeführten Versuchen unter den erwähnten Bedingungen niemals lebende Wesen entstanden sind.

Um die benutzten Gefäße und Materialien frei von lebenden Wesen oder Keimen derselben zu machen, muss man dieselben auf Temperaturen erhitzen, bei denen das Leben nicht mehr bestehen kann. Flüssigkeiten werden am sichersten sterilisiert, d. h. von lebenden Wesen befreit, durch hinreichend langes Erhitzen auf Siedetemperatur. Kann wegen der Veränderlichkeit der angewandten Substanzen die Erhitzung nicht bis zu dieser Temperatur getrieben werden, so genügt auch Erwärmung bis 60°, aber diese muss dann längere Zeit einwirken und mehrmals wiederholt werden. An trockenen Substanzen, wie Gläsern und dergl., haften oft die gegen Erwärmung sehr resistenten Dauersporen, welche bei Befeuchtung wieder zu lebenden Wesen auswachsen; sie erfordern zu sicherer Sterilisierung eine längere Erhitzung auf mindestens 150°.

Solche Dauersporen sowie encystierte Protisten können im trocknen Zustande sehr lange am Leben bleiben, selbst unter den ungünstigsten Umständen (vgl. Kap. 12, § 9 und Kap. 20, § 5). Bei dem sehr geringen Gewicht derartiger winziger Gebilde werden sie durch Winde leicht fortgetragen und überallhin zerstreut. Die immer in der Luft schwebenden winzigen Teilchen, welche durch Reflexion des Lichtes an ihren Oberflächen als „Sonnenstäubchen" sichtbar werden, enthalten daher neben allerlei unorganischen Bestandteilen häufig auch derartige lebensfähige Gebilde. Wo die Luft weniger bewegt ist, sinken sie langsam zu Boden. Das trifft besonders zu für die Luftschichten, welche sich in offenen Gefäßen befinden. Ein solches Gefäß stellt deshalb sozusagen eine Falle vor, in welcher sich nach und nach eine große Zahl der in der Luft schwebenden Staubteilchen durch Absitzen fangen. Sind unter diesen auch nur wenige lebensfähige Individuen oder Keime derselben, und enthalten die Gefäße eine geeignete Nährstofflösung, so werden jene wenigen Individuen sich bald vermehren, aus den Keimen werden neue Individuen hervorgehen, die sich auch vermehren, kurz die Flüssigkeit wird nach Verlauf einiger Zeit von allerlei Lebewesen wimmeln, auch dann, wenn die Gefäße und ihr Inhalt anfangs vollkommen frei von solchen waren.

Um das Hineingeraten der ersten Keime sicher zu verhindern, muss man die Gefäße von der umgebenden Luft abschließen. Der Abschluss braucht aber durchaus kein luftdichter zu sein. Es genügt ein Verschluss mit einem hinlänglich dichten Baumwoll-(Watte-)pfropf. Denn durch diesen ist zwar ein Luftaustausch möglich, aber die Luft wird durch ihn gleichsam filtriert; alle in ihr enthaltenen Lebewesen und Keime, selbst

die allerkleinsten, bleiben auf der äußeren Oberfläche und in den alleräußersten Schichten des Baumwollpfropfes stecken.

Angenommen, wir hätten ein passendes Gefäß (ein sogenannter Kolben, wie er in chemischen Laboratorien benutzt zu werden pflegt, d. h. ein weites Gefäß mit langem, engem Hals, eignet sich dazu) mit einer passenden Nährflüssigkeit gefüllt, auf das sorgfältigste durch hinlänglich langes Erhitzen sterilisiert und mit einem trockenen[1]), vorher sterilisierten Wattepfropf verschlossen. Einen zweiten Kolben beschicken wir mit der gleichen Flüssigkeit, sterilisieren ihn gleichfalls sorgfältig, lassen ihn aber offen. Einen dritten lassen wir unsterilisiert, verschließen ihn aber. Alle drei Kolben lassen wir nebeneinander, am besten an einem warmen Orte, stehen.

Nach einiger Zeit, bisweilen schon nach 24 Stunden, wird die Flüssigkeit im Kolben No. 3 deutlich getrübt erscheinen; die mikroskopische Untersuchung wird allerlei Lebewesen in ihr nachweisen. Im Kolben No. 2 wird die Anwesenheit von solchen meistens erst später, nach einigen Wochen oder Tagen deutlich nachweisbar sein. Sind die ersten Spuren solcher Lebewesen aufgetreten, so erfolgt ihre Vermehrung rasch, und wenn in der Nährstofflösung zersetzbare organische Stoffe wie Eiweiß oder dergleichen vorhanden waren, macht sich deren Zersetzung bemerklich.

Kolben N. 1 aber wird unverändert bleiben, und keine Spur von Organismen wird in ihm nachweisbar sein. Ja, wenn der Verschluss gut ist, so können wir diesen Kolben jahrelang aufbewahren, ohne dass in ihm sich irgend ein Lebewesen entwickelt.

Aus diesem Versuch geht also hervor, was wir oben behauptet haben, dass zur Entwickelung von Lebewesen entweder solche (oder deren Keime) schon vorher in den Gefäßen enthalten sein mussten oder dass solche von außen hineingelangen. Wie wir auch die Versuchsbedingungen abändern, immer lässt sich zeigen, dass da, wo keine lebende Substanz vorhanden war, auch keine neue entsteht.

3. Das Entstehen des Lebens ist unbekannt.

3. Wir dürfen also mit Bestimmtheit behaupten, dass es noch Niemandem gelungen ist, eine Urzeugung, ein Entstehen lebender Substanz aus nicht lebender, zu beweisen. Dürfen wir deshalb sagen, dass die Urzeugung unmöglich sei?

Offenbar nicht. Alles, was wir behaupten dürfen, ist, dass

[1]) Wenn der Pfropf nicht trocken ist, so können Organismen sich auf seiner Außenfläche ansiedeln, durch ihn hindurchwachsen und schließlich ins Innere gelangen.

unter den Bedingungen, welche bisher in den Versuchen verwirklicht worden sind, diese Entstehung nicht vor sich geht. Die Forscher, welche das Gegenteil gefunden zu haben glaubten, sind getäuscht worden, weil sie die Bedingungen nicht streng erfüllt haben, die zum Abtöten der schon vorhandenen und zur Abhaltung von außen eindringender Keime erforderlich sind.[1]) Es ist heute, dank den Fortschritten der Versuchstechnik, leicht, den Nachweis zu führen, dass bei strenger Durchführung der notwendigen Maßregeln Urzeugung nicht stattfindet. Aber, wenn wir zu der Überzeugung gekommen sind, dass es Zeiten auf der Erde gegeben hat, in denen Lebewesen von der Art, wie wir sie jetzt auf ihr kennen, nicht haben existieren können, so müssen wir auch zugeben, dass zwischen jenen Zeiten und denen, wo die ersten, den jetzigen ähnlichen Lebewesen vorhanden waren, die Erde eine Reihe von Zwischenzuständen durchlaufen hat, von denen wir nicht wissen, ob in ihnen nicht ganz andere Bedingungen gegeben waren, als wir sie in unseren Versuchen herstellen.

Vielleicht sind die Lebewesen auf ganz andere Weise und aus ganz anderem Material entstanden, als wir es in unseren Versuchen anwenden. Vielleicht gehörten dazu Jahrhunderte oder Jahrtausende. Vielleicht ist die Entstehung eine allmähliche gewesen, nicht derart, dass aus den Elementen C, H, O, N, S und P gleich fertige Molekeln von lebendem Eiweiß, Fetten, Kohlehydraten und aus diesen gleich ein Pilz oder eine Amoebe hervorging, sondern irgend welche uns vielleicht unbekannte, weil unter den jetzigen Verhältnissen nicht bestehende chemische Verbindungen und irgend welche uns gleichfalls unbekannte Vorstufen der jetzigen Lebewesen. Vielleicht gehörte dazu eine andere Temperatur, ein andrer Sauerstoff- oder Kohlensäuregehalt, ein andrer Druck, als wir sie in unseren Versuchen angewendet haben oder anwenden können.

Es würde überflüssig sein, diese Aufzählung von „Vielleichts“ noch zu vermehren. Fragen, die wir mit den uns zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln nicht zu lösen vermögen, müssen wir eben offen lassen. Wir müssen uns begnügen, festzustellen, dass wir über das erste Entstehen von Lebewesen überhaupt und auf unsrer Erde insbesondre nichts wissen und müssen, es der Zukunft überlassen, ob durch Auffindung neuer Tatsachen diese Lücke in unserer Erkenntnis ausgefüllt werden wird.

[1]) Auf der Erkenntnis dieser Bedingungen beruht der große Fortschritt, welchen in neuerer Zeit die genauere Erforschung niederer Lebewesen, insbesondere der Bakterien, hat machen können. Auf die Wichtigkeit dieses Fortschritts für die Kenntnis und Verhütung von Krankheiten, sowie für viele technisch wichtige Verhältnisse (Konservierung von Nahrungsmitteln, Gärungsgewerbe) wurde schon früher hingewiesen (vgl. Kap. 17 § 7).

4. Veränderlichkeit der Lebewesen.

4. Die Palaeontologie lehrt, dass zahlreiche Arten, ja ganze große Gruppen von Lebewesen, welche in früheren Epochen zahlreich vertreten waren, entweder ganz ausgestorben oder auf eine kleine Zahl von Individuen zusammengeschmolzen sind, dass andere Lebewesen, welche jetzt noch in beschränkten Gebieten leben, in früheren Zeiten einen viel größeren Verbreitungsbezirk gehabt haben müssen, da zahlreiche Reste von ihnen in Gegenden gefunden werden, wo sie jetzt vollkommen fehlen. Wir brauchen, um das mit Beispielen zu belegen, nicht einmal auf entlegene geologische Perioden zurückzugreifen. Manche Tiere und Pflanzen sind erst in historischer Zeit, zum Teil erst im Laufe der letzten 100 Jahre ausgestorben oder so selten geworden, dass ihre letzten Bestände nur durch künstliche Schonung erhalten werden. So ist der Biber, *(Castor fiber)* welcher früher in Deutschland sehr häufig war, jetzt nur noch in der Elbe zwischen Magdeburg und Wittenberg zu finden; der nordamerikanische Büffel (*Bison americanus*) ist dem Aussterben nahe und wird, um die letzten Bestände zu erhalten, in dem Nationalpark von Yellowstone gehegt. Der arktische Schwimmvogel *Alca impennis*, welcher noch im Anfang des 19. Jahrhunderts auf Island sehr häufig war, ist gänzlich ausgerottet. In diesen Fällen ist der Mensch, welcher diese Tiere massenhaft erlegte, an der Abnahme schuld. Das Verschwinden älterer Formen haben vor allem die nachgewiesenermaßen sehr beträchtlichen Veränderungen der klimatischen Verhältnisse verschuldet. Viele Pflanzen und Tiere, welche oder deren nächste Verwandte heute nur in tropischen Gegenden leben, sind in den Ablagerungen der gemäßigten Zonen aufgefunden worden, ebenso Tiere aus arktischen Regionen an Stellen mit jetzt warmem Klima.

Andererseits sehen wir in den aufeinanderfolgenden Perioden, auf welche wir aus den geologischen Ablagerungen schließen können, immer neue Formen von Lebewesen auftreten, welche in den vorhergehenden nicht vorhanden waren.

Gewiss sind viele Formen, die nur aus weichen Teilen bestanden, zu Grunde gegangen, ohne dass Reste von ihnen auf unsere Zeit gekommen sind. Auch kennen wir nicht alle noch im Innern der Erde erhaltenen früheren Lebewesen, da erst ein verhältnismäßig kleiner Teil der Erdoberfläche geologisch untersucht ist, ein großer Teil überhaupt nicht untersucht werden kann, weil er vom Meer bedeckt ist. Aber es ist doch unwahrscheinlich, dass bei jeder Änderung der Verhältnisse auf der Erdoberfläche gerade die Überreste derjenigen Formen erhalten sein sollten, welche in den folgenden Perioden nicht mehr lebend existierten, und gerade die zu Grunde gegangen seien, ohne Spuren zu hinterlassen,

welche weiter Teile des lebenden Bestandes blieben. Wäre dem so, dann müssten die ältesten Zeiten an verschiedenartigen Formen am reichsten gewesen sein, und unsere jetzige Lebewelt bestände nur aus den Resten der ursprünglichen, von welcher nach und nach immer mehr und mehr Glieder ausgestorben sein müssten. Das ist doch nicht sehr wahrscheinlich.

5. Behufs weiterer Erörterung dieser Frage müssen wir zu- 5. Systematische Einteilung.
nächst die Vorfrage behandeln, wie wir die einzelnen, jetzt noch bestehenden und von früher auf uns gekommenen Formen voneinander trennen, mit andern Worten, nach welchen Grundsätzen die Einteilung der Lebewesen, die Zerlegung in Gruppen vorgenommen werden kann.

Die Beobachtung lehrt uns nur Individuen kennen, von denen keines dem anderen genau gleicht. Die Kinder einer Familie, die Jungen einer Hündin, sogar die von demselben Wurf, die Blumen, welche aus der gleichen Aussaat hervorgegangen sind, sie zeigen alle kleine Verschiedenheiten. Das gilt nicht bloß von äußeren Merkmalen, wie Färbung der Haare u. s. w., auch die inneren Organe weisen kleine Verschiedenheiten auf; ja diese würden wahrscheinlich noch viel bedeutender sein, wenn wir die gesamte Organisation jedes einzelnen Individuums mit allen ihren mikroskopisch, chemisch oder sonstwie erkennbaren Einzelheiten wirklich genau erforschen könnten.

Allein das schließt nicht aus, dass viele dieser Individuen unter sich viel mehr Ähnlichkeiten aufweisen und deshalb zu einer Gruppe vereinigt werden können, die von anderen, in ähnlicher Weise zu vereinigenden Gruppen sich durch wesentliche Züge unterscheidet. Das lehrt uns ja die tägliche Erfahrung und hat die Menschen seit undenklichen Zeiten veranlasst, alle Naturobjekte und insbesondre die Lebewesen in solche Gruppen zusammenzufassen.

Jede solche Einteilung ist nur dadurch möglich, dass wir bei der Zusammenfassung einer Anzahl von Individuen zu einer Gruppe von allen jenen kleinen Unterschieden der einzelnen Individuen absehen, dass wir sie für unwesentlich oder gleichgiltig erklären. Wenn wir alle Nelken, alle Hunde, alle Menschen zu einer systematischen Einheit zusammenfassen, so abstrahieren wir mit Bewusstsein von den Verschiedenheiten der Färbung, der Größe, der Formen einzelner Teile. Wir erklären alle diese Verschiedenheiten für unwesentlich gegenüber den übereinstimmenden Merkmalen, deren Aufzählung die Beschreibung oder, wie der technische Ausdruck lautet, die Diagnose der Gruppe ausmacht.

Für die wissenschaftliche systematische Einteilung werden alle bekannten Lebewesen auf eine gewisse Anzahl von Arten oder Species

zurückgeführt, welche wieder zu größeren Gruppen, den Genera oder Geschlechtern, zusammengefasst werden.

Mit der Angabe des Genus und der Species ist die systematische Stellung eines Lebewesens vollkommen bestimmt; dem entspricht auch die wissenschaftliche Benennung, die sich immer aus zwei Wörtern zusammensetzt, dem Genus- und dem Species-Namen: *Canis vulpes* (Fuchs), *Canis familiaris* (Hund); *Quercus pedunculata* (Stieleiche), *Quercus sessiliflora* (Traubeneiche).[1])

Seit Linné (1735) sein System der ihm damals bekannten Tiere und Pflanzen aufgestellt hat, ist diese Art der Einteilung und diese Art der Bezeichnung allgemein angenommen worden. Jeder, der Gelegenheit hat, sich in irgend einer Weise naturwissenschaftlich mit einem Lebewesen zu beschäftigen, benutzt dieselbe. Ist ihm das Lebewesen nicht sofort bekannt, so stellt er zunächst fest, ob es mit einem schon beschriebenen identisch ist, und bezeichnet es mit den beiden für dasselbe eingeführten Namen.

Gelingt ihm die Feststellung nicht, so bedient er sich entweder einer weniger bestimmten Bezeichnung oder, wenn er Grund zu der Annahme hat, dass es sich um eine neue, d. h. noch nicht beschriebene Form handelt, so giebt er ihm einen neuen, nach denselben Grundsätzen geformten, d. h. aus zwei Teilen zusammengesetzten Namen.[2])

Da auch viele Genera unter sich größere Ähnlichkeiten aufweisen und sich dadurch von anderen Gruppen von Genera unterscheiden, so ergeben sich größere Abteilungen, die man als Familien, Ordnungen, Klassen, Stämme bezeichnet, bis man zuletzt zu der generellsten Einteilung in die zwei Reiche der Pflanzen und Tiere gelangt, denen sich als drittes das unbestimmte Gebiet der Protisten anschließt (vgl. Kap. 1 § 15).

6. Bedeutung der Einteilung.

6. Die Abgrenzung der Species voneinander macht nicht selten große Schwierigkeiten. Je mehr einzelne Individuen untersucht werden, desto mehr erkennt man, dass innerhalb dessen, was man bis dahin als eine Species angesehen hatte, sich häufig gut definir-

---

[1]) Diese doppelte Bezeichnung wird auch da benutzt, wo man nur eine einzige Species kennt oder, wenn man annimmt, dass überhaupt nur eine Species innerhalb des ganzen Genus existiere, z. B. *Homo sapiens* (Mensch).

[2]) Solchen, welche nicht von Berufswegen mit der Systematik einer bestimmten Gruppe von Lebewesen zu thun haben, wird es oft schwer, die genaue Bestimmung auszuführen. Häufig lässt sich mit Hilfe von Nachschlagewerken wohl das Genus, nicht aber die Species feststellen. In solchen Fällen fügt man dem Genusnamen den Zusatz spec. bei. Zum Beispiel *Melolontha spec.* besagt, dass es sich um einen Käfer aus der Gattung *Melolontha*, aber um eine unbekannte Species, also z. B. nicht um den gemeinen Maikäfer (*Melolontha vulgaris*) handelt.

bare Untergruppen unterscheiden lassen. Dann wird die Species geteilt, entweder durch Aufstellung neuer Arten, oder in Unterarten, Varietäten oder Rassen. Dabei geht es nicht ohne eine gewisse subjektive Willkür ab. So betrachten manche Botaniker die beiden oben erwähnten Arten der Eiche nur als Varietäten einer und derselben Species: *Quercus robur*. Das Gleiche gilt für die Genera und die höheren Abteilungen. Der gemeine Löwenzahn, auch Butterblume genannt, wurde von LINNÉ zur Gattung *Leontodon* gerechnet und *Leontodon taraxacum* benannt. Jetzt hat man es richtiger gefunden, die Gattung *Leontodon* zu spalten, und hat der neuen Gattung den früheren Speciesnamen als Gattungsnamen verliehen, so dass dieselbe Pflanze jetzt *Taraxacum officinale* heißt.

Bei solchen Abänderungen der Benennung und der Einteilung und Einordnung in ein System lässt sich der Systematiker von Gründen der Zweckmäßigkeit leiten. Der Zweck der systematischen Einteilung ist ein praktischer, die Erleichterung der Übersicht und des Behaltens und Wiedererkennens des schon Bekannten. Daneben haben sich aber immer auch andre Vorstellungen eingemischt. Man nannte die zu einer Gruppe vereinigten einzelnen Individuen Verwandte und unterschied verschiedene Grade der Verwandtschaft. Es fragt sich, ob diese Bezeichnung nichts weiter sein soll als ein Gleichnis, oder ob ihr irgend eine thatsächliche Bedeutung beizumessen ist.

Geschwister, d. h. die Nachkommenschaft eines und desselben Elternpaares nennen wir Verwandte, ebenso Eltern und Kinder. Die Kinder zweier Geschwister, also Vettern und Muhmen, stellen eine Verwandtschaft zweiten Grades dar; dieser kommt etwa gleich die Verwandtschaft zwischen den Kindern eines Elternpaares und den Geschwistern der Eltern. Wenn wir die Eicheln eines Eichbaumes aussäen und so ein ganzes Eichenwäldchen erhalten, so dürfen wir die sämtlichen Bäume dieses Wäldchens als Kinder jener Stammeiche und unter sich als Geschwister bezeichnen. Wenn wir von zweien dieser Eichen der zweiten Generation Eicheln aussäen, so würden die hieraus hervorgehenden Eichen untereinander im Verwandtschaftsverhältnis der Vetterschaft stehen.

Solange der Nachweis dieser unmittelbaren oder mittelbaren Abstammung von einem Elternpaar[1]), der sogenannte Stammbaum, auf irgend eine sichere Weise, durch Urkunden oder sonstwie, feststeht oder festgestellt werden kann, dürfen wir unbedingt von Verwandtschaft im

[1]) Die Anwendung der obigen Betrachtung auf diejenigen Fälle, in denen zur Erzeugung der Nachkommenschaft nicht die Vereinigung zweier Individuen verschiedenen Geschlechts erforderlich ist, ergiebt sich von selbst. Sicher verwandt sind in solchen Fällen alle Individuen, welche nachweislich durch Teilung oder Knospung aus einem Individuum hervorgegangen sind.

eigentlichen Sinne sprechen. Die sogenannte Akazie (*Robinia pseudacacia*), ein Waldbaum Nordamerikas, wurde zuerst im Jahre 1601 im Jardin des plantes zu Paris von JEAN ROBIN aus Samen gezogen. Von diesem ersten europäischen Exemplar stammen, wenn nicht alle, so doch die allermeisten, jetzt so verbreiteten Akazienbäume Europas ab. Im Jahre 1614 kam ein Same von *Erigeron canadense* in einem ausgestopften Vogelbalge nach Europa; die Pflanze ist jetzt ein gemeines Unkraut geworden, das sich in ganz Europa und dem russischen Asien überall vorfindet. Ebenfalls amerikanischen Ursprungs ist *Elodea canadensis*, die kanadische Wasserpest. Im Jahre 1836 trat sie zuerst in einem Teiche in Irland auf, in welchen nordamerikanische Wasserpflanzen ausgepflanzt worden waren, unter denen zufällig ein Spross der Elodea gewesen sein muss. Sie füllte bald den ganzen Teich, aus dem sie massenweise ausgebaggert werden musste. In den Jahren 1841—1854 verbreitete sie sich über alle Gewässer Schottlands und Englands. 1854 wurde sie nach dem botanischen Garten in Schoeneberg bei Berlin behufs Untersuchung versandt. Von da gelangte sie in die Havel, Spree und Elbe, Oder u. s. w. Jetzt gehört sie zu den ständigen Bewohnern der Flüsse, Teiche und Seeen Mitteleuropas, scheint aber seit 1872 keine weiteren Fortschritte in ihrer Ausbreitung gemacht zu haben. Ähnlich ist es mit der umgekehrten Wanderung von Lebewesen aus Europa nach Amerika gegangen. Alle wilden Rinder Argentiniens sind Nachkommen einer kleinen Herde von sieben Kühen und einem Stier, welche im Jahre 1556 aus Spanien eingeführt wurden und in die Wälder entliefen. Die Ziegen auf der Insel Juan Fernandez an der Westküste Chiles stammen von einem Paar, welches mit dem schottischen Matrosen Alexander Selkirk, dem Vorbilde von Daniel Defoe's Robinson Crusoe, im Jahre 1704 dorthin gelangte.

Gegenüber diesen und einigen ähnlichen bis zu einem gewissen Grade nachweisbaren Abstammungsgeschichten einzelner Tier- und Pflanzenarten ist die Herkunft der allermeisten unbekannt. Auch handelt es sich bei den angeführten Beispielen um eine, wenn auch große, so doch begrenzte Zahl von Individuen. Was wir gern wissen möchten, ist, ob ebenso, wie alle Ziegen der Insel Juan Fernandez von jenem Ziegenpaar des Matrosen Selkirk abstammen, auch alle überhaupt auf der Erde vorhandenen Ziegen unter einander verwandt sind, d. h. ob sie alle von einem Urahnenpaar abstammen.

Die Grundlagen für die Aufstellung von Arten, Gattungen u. s. w. sind rein morphologische: Ähnlichkeit der äußeren und inneren Formen, der Organisation. Wir wissen, dass diese Formen und Organisationen bis zu einem gewissen Grade auf die Nachkommenschaft übergehen. Auf der anderen Seite ist doch die Ähnlichkeit zwischen Eltern und Nachkommen keine unbedingte, oder

vielmehr, es ist zwar Ähnlichkeit, aber keine Gleichheit vorhanden. Kein Nachkomme wiederholt ganz genau die Form des Vorfahren; kleine Abweichungen sind immer vorhanden.

7. Um dieser Schwierigkeit in der Feststellung des Artbegriffs aus dem Wege zu gehen, hat man angenommen, dass nur die unwesentlichen Merkmale schwanken, dass dagegen die wesentlichen, den Charakter der Art ausmachenden sich unverändert auf die Nachkommen vererben. Dabei verfährt man aber durchaus willkürlich. Man behauptet, dass die Arten sich in allen wesentlichen Merkmalen unverändert fortpflanzen. Und wenn man bei den Nachkommen eine Abweichung bemerkt, so sagt man, dies sei kein wesentliches Merkmal, also kein Artcharakter. 7. Variabilität.

Die Thatsachen, welche über das Auftreten von Variationen und die etwaige Befestigung solcher Abweichungen durch Übertragung auf die Nachkommenschaft verwertet werden, sind hauptsächlich durch die Erfahrungen der Züchter an Haustieren und an Kulturpflanzen gewonnen worden. Wenn ein Gärtner in seinem Nelkenflor irgend eine Abweichung in der Färbung der Kronblätter bemerkt, so kann er durch Aussäen der Samen von diesen Pflanzen auf einem getrennten Beet, auf welchem keine Befruchtung durch den Pollen der anderen Pflanzen stattfindet, die Zahl der Pflanzen, welche diesen Charakter aufweisen, steigern. Durch Wiederholung des Verfahrens gelangt er nach einiger Zeit zu Pflanzen, welche fast alle die neue Färbung zeigen und die ihre Eigentümlichkeiten auf ihre Nachkommenschaft vererben. Auf ähnliche Weise sind die verschiedenen Rassen oder Varietäten der Haustiere entstanden, welche künstlich herangezüchtet worden sind. Indem der Züchter Tiere mit einer ihm auffallenden Eigentümlichkeit, schönerem Gefieder, schlankerem Bau der Glieder, größerer Muskelkraft oder größerer Geschwindigkeit zur Nachzucht auswählt, gelingt es ihm, diese Eigenschaften bis zu einem gewissen Grade zu steigern und so zu befestigen, dass sie sich auf die Nachkommenschaft vererben. Freilich bedarf es dazu längerer Zeiträume, großer Geduld und eines gewissen Geschicks.

Wir sehen also, dass die im vorigen Paragraphen versuchte genaue Abgrenzung des Artbegriffs unzureichend ist. Einerseits können wir nicht beweisen, dass alle jetzt bestehenden artgleichen Wesen wirklich gemeinsamer Abstammung sind. Andrerseits sehen wir, dass Lebewesen, welche nachweislich von gemeinsamer Abstammung sind, unter Umständen so weit voneinander verschieden werden können, dass man nicht mehr sagen kann, ob sie noch zu einer und derselben Art gerechnet werden dürfen.

Betont man bei der Definition des Artbegriffs die gemeinsame Abstammung, so führt man an Stelle rein morphologischer Gesichtspunkte

ein neues physiologisches Moment ein, das der Abstammung. Noch mehr tritt das hervor bei einem anderen Vorschlag, welcher behufs genauerer Feststellung des Artbegriffs gemacht wurde. Man hat gefunden, dass zuweilen nicht nur Individuen derselben Art, sondern auch von zwei einander nahestehenden Arten miteinander geschlechtliche Nachkommenschaft liefern. Diese sogenannten Bastarde oder Blendlinge[1]), welche in ihren Eigenschaften Gemische der Artcharaktere beider Eltern aufweisen, sind in der Regel unfruchtbar. Man hat deshalb alle Tiere, welche miteinander fruchtbare Nachkommenschaft geben, als zur gleichen Art, dagegen solche, die unfruchtbare Nachkommen liefern, als zu verschiedenen Arten gehörig ansehen wollen. Man kommt aber auch damit nicht aus, da gelegentlich bei Tieren und nicht selten bei Pflanzen Fälle beobachtet worden sind, in denen Nachkommen zweier Individuen von allgemein anerkannten verschiedenen Arten fruchtbar waren. Sorgt man in letzterem Falle dafür, dass die Bastarde nur untereinander zur Befruchtung gelangen, so sind in der ersten Generation viele der von ihnen stammenden Samen nicht keimfähig. In jeder folgenden Generation wird aber der Prozentsatz der keimfähigen Samen größer. Es ist dies sogar, wie es scheint, einer der günstigsten Wege, um in verhältnismäßig kurzer Zeit neue Arten zu erhalten.

Es ist deshalb jedenfalls richtiger, bei der für die Zwecke der Wissenschaft unbedingt notwendigen Einteilung der Lebewesen in Arten von physiologischen Gesichtspunkten ganz abzusehen und sich ausschließlich von morphologischen leiten zu lassen. Formen, welche sich durch bestimmte Merkmale voneinander unterscheiden, ohne dass allmähliche Übergänge zwischen ihnen nachweisbar sind, wird man als verschiedene Arten ansehen können; wo aber die Abweichungen geringfügig und Zwischenstufen vorhanden sind, wird man von Varietäten, Spielarten oder Rassen innerhalb des Rahmens einer Art sprechen.

Dass diese Unterscheidung häufig Schwierigkeiten macht, ist freilich nicht zu leugnen, und man wird sich deshalb nicht wundern, wenn in einem gegebenen Falle verschiedene Systematiker zu verschiedenen Ergebnissen gelangen.

8. Entstehung neuer Arten.

8. Die Abweichungen, welche bei Lebewesen gleichen Ursprungs stets aufzutreten pflegen, sind meist nur geringe, so wie wir sie zwischen Eltern und Kindern und zwischen Geschwistern zu sehen gewöhnt sind. In einzelnen Fällen dagegen werden sie so groß, dass jeder Systematiker die Individuen, an denen sie auf-

[1]) Am bekanntesten sind die Bastarde zwischen Pferd und Esel, das Maultier (Nachkomme eines Eselhengstes und einer Pferdestute) und der Maulesel (Nachkomme eines Pferdehengstes und einer Eselin). Aber auch bei anderen Haustieren sowohl wie bei freilebenden Tieren und noch mehr bei Pflanzen kommt Bastardierung vor.

treten, als zu einer anderen Species gehörig ansehen muss. Was die Veranlassung zu diesen Abweichungen ist, bleibt fast immer ungewiss. Veränderungen der äußeren Lebensbedingungen, Bastardierung und der sogenannte Rückschlag oder Atavismus mögen die häufigsten Ursachen sein. Da das Auftreten der Veränderung nicht vorhergesehen werden konnte, so gelingt es kaum jemals, nachträglich die Bedingungen festzustellen, welche auf ihr Entstehen Einfluss haben ausüben können. So werden jährlich neue Arten oder Spielarten von Gartenpflanzen in den Handel gebracht, aber die Züchter wissen nicht, wie sie entstanden sind. Man nennt die Abweichungen spontane, d. h. man giebt sich weiter keine Mühe, die Art und Weise ihres Entstehens zu verfolgen.

Dass Änderungen der äußeren Lebensbedingungen Veränderungen in Organismen hervorrufen können, ist unzweifelhaft[1]). Sie sind aber geringe und gehen leicht wieder verloren. Wilde Pflanzen, welche in Gartenkultur genommen werden, Gebirgspflanzen, welche in die Ebene, Pflanzen, die in andere Klimate versetzt werden, bieten Beispiele. Auch an Tieren kommt das Gleiche vor. Sorgfältige Pflege und Züchtung kann solche Abänderungen erhalten oder noch verstärken; ohne sie gehen sie leicht wieder verloren. Es ist möglich, dass bei Einwirkung der gleichen Bedingungen während langer Zeitperioden die Veränderungen tiefer greifen und durch die oft wiederholte Vererbung zuletzt zu ganz festen Artcharakteren werden, doch lässt sich diese Vermutung nicht leicht durch die Erfahrung prüfen.[2])

Bastardierung ist sicherlich eine der wirksamsten Ursachen der Abänderung. Sie kommt bei Pflanzen, deren Blütenstaub durch Wind, Insekten u. s. w. verbreitet wird, häufig genug vor. Das Gleiche gilt, vielleicht nicht ganz in demselben Maße, von Tieren im Naturzustande wie auch von Haustieren. Unsere positiven Kenntnisse über die Folgen der Bastardierung fußen vorzugsweise auf Erfahrungen an den letzteren. Die Möglichkeit der Befruchtung

---

[1]) Veränderungen durch äußere Einflüsse kommen um so leichter zu stande, je früher sie auf das sich entwickelnde Lebewesen einwirken. Ein lehrreiches Beispiel hierfür bietet der sogenannte Saisondimorphismus bei manchen Schmetterlingen. Aus überwinterten Puppen entstehende Schmetterlinge sehen ganz anders aus als die von diesen im Laufe des Sommers erzeugten Nachkommen. Wenn man aber die Puppen in einem Eisschrank oder in einem Brutschrank bei sehr niedrigen oder entsprechend hohen Temperaturen hält, so kann man willkürlich die Frühjahrs- oder die Sommerformen züchten.

[2]) Dementsprechend dürfen wir auch vermuten, dass Lebewesen, welche sich dauernd unter gleichen äußeren Bedingungen befinden, sich wenig oder gar nicht verändern. So würde sich erklären, warum beispielsweise die Diatomeen der Steinkohle fast ganz den heute noch im Meere lebenden gleichen.

zwischen ganz verschiedenen Arten ist für Säugetiere, Vögel, Amphibien, Fische, Insekten, Echinodermen sicher festgestellt. Bei Tieren, deren Befruchtung an einen Begattungsakt gebunden ist, stellen sich der Bastardzeugung häufig Schwierigkeiten entgegen, welche da, wo die Befruchtung der Eier außerhalb des mütterlichen Organismus erfolgt, fortfallen. Sie kann dann auch künstlich bewerkstelligt werden und ist, in einzelnen Fällen mit Erfolg, experimentell versucht worden. Doch sind die Versuche bisher noch nicht zahlreich genug, um ein abschließendes Urteil zu gestatten.

Unter Atavismus versteht man die Erscheinung des Wiederauftretens von Charakteren früherer Ahnen, welche aus irgend einem Grunde bei den unmittelbaren Vorfahren stark abgeschwächt waren oder ganz fehlten. Es ist allgemein bekannt, dass Kinder zuweilen einem Großvater oder einer Großmutter viel ähnlicher sind als dem Vater oder der Mutter. Auffallende Eigentümlichkeiten werden in dieser Weise zuweilen mit Überspringung einer oder mehrerer Generationen vererbt. Wenn also eine auffallende Abweichung vom Artcharakter plötzlich auftritt, so kann diese sehr wohl von einem früheren Ahnen herstammen.

Wenn wir demnach allerlei Umstände kennen, durch welche kleinere oder größere Verschiedenheiten zwischen Abkömmlingen derselben Individuen herbeigeführt werden, so fragt sich nur, ob diese Verschiedenheiten groß genug werden, um sie als Artunterschiede anzuerkennen, und ob dieselben durch irgend welche Einflüsse so befestigt werden, dass sie auf die Nachkommenschaft übertragen werden und dadurch zur Entstehung neuer Arten führen.

Die stets vorhandenen kleinen Unterschiede zwischen den einzelnen Individuen einer Gruppe sind durch allmähliche Übergänge miteinander verbunden. Wo sie sich messen lassen, zeigt sich, wenn die Zahl der untersuchten Individuen sehr groß ist, eine bestimmte Gesetzmäßigkeit in dem Verhältnis zwischen der Größe der Abweichung vom Durchschnitt und der Anzahl der Individuen, an welchen dieser Grad der Abweichung festgestellt wurde. Um dies an einem möglichst einfachen Beispiel deutlich zu machen, wollen wir annehmen, wir hätten die Körperlänge der erwachsenen Individuen einer bestimmten Bevölkerung, z. B. der männlichen Bewohner des deutschen Reichs, zu bestimmen. Wir berechnen aus einer sehr großen Zahl von Einzelmessungen das arithmetische Mittel und können auch nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung angeben, um wieviel der so berechnete Wert von der wahren mittleren Größe abweichen kann (vgl. Kap. 3 § 7). Die wirklich gemessenen Größen weichen von diesem Mittel zum Teil erheblich ab. Wir zählen die Anzahl der Personen, welche um je 1, 2, 3 u. s. f. Centimeter

größer oder kleiner sind als jenes Mittel. Dann zeigt sich, dass die Zahl derjenigen, welche nur wenig vom Mittelwert abweichen, sehr groß ist. Dann folgen die, welche um 1 cm größer oder kleiner sind, dann die, welche um 2 cm größer oder kleiner sind, und so nehmen die Zahlen immer mehr ab, bis zuletzt die Gruppen, welche von der Durchschnittsgröße, sei es nach oben oder nach unten, sehr erheblich abweichen, nur durch sehr wenige Personen vertreten sind.

Die gleiche Gesetzmäßigkeit zeigt sich bei allen Arten von Variationen, welche durch kleine Übergänge miteinander verbunden sind, vorausgesetzt, dass eine genügend große Zahl von Individuen untersucht worden ist. Wenn jene Gesetzmäßigkeit fehlt, so kann dies oft davon herrühren, dass bei der Zählung Individuen zusammengefasst worden sind, welche in Bezug auf das der Messung unterworfene Merkmal nicht zu einer und derselben Gruppe gehören. Angenommen, es werde die gleiche Untersuchung für die erwachsenen Personen weiblichen Geschlechts durchgeführt. Das Gesetz würde sich in gleicher Weise zeigen, doch würde sowohl das Durchschnittsmaß wie die Mindest- und Meistgröße niedriger ausfallen als bei den Männern. Fasst man aber die beiden Zählungsreihen zu einer zusammen, so zeigt sich, dass es zwei voneinander verschiedene Größen giebt, für welche die Zahl der zu ihnen gehörigen Individuen größer ist als für die nächstbenachbarten.[1])

Abweichungen von jener einfachen Gesetzmäßigkeit machen uns also sofort darauf aufmerksam, dass ein besonderer Umstand von Einfluss auf das Ergebnis ist. Wie in dem angeführten Beispiel die Geschlechter zwei getrennte Gruppen bilden, welche in Bezug auf die Körpergröße verschieden sind, so werden wir in anderen Fällen darauf hingewiesen, dass Rassenunterschiede vorhanden oder im Entstehen begriffen sind. Statistische Untersuchungen dieser Art, welche in neuerer Zeit mehrfach unternommen wurden, haben schon interessante Ergebnisse geliefert und werden, wenn sie noch zahlreicher angestellt sein werden, gewiss noch wertvollere Aufschlüsse liefern.

Dass durch sorgfältige Züchtung Abweichungen der beschriebenen Art zu einer gewissen Stetigkeit führen können, dass sie aber, wenn man die Individuen sich selbst überlässt, leicht wieder verloren gehen, wurde schon hervorgehoben. Dagegen werden die größeren Abänderungen, welche von Zeit zu Zeit auftreten, meistens sofort auf die Nachkommenschaft übertragen. Es fragt sich, ob es möglich ist, auf Grund dieser Erfahrungen eine Theorie aufzustellen, welche das Entstehen der

[1]) Um solche Zählungsergebnisse untereinander vergleichbar zu machen, rechnet man sie in Prozente der gesamten, der Zählung unterworfenen Individuen um. Das Zählungsergebnis wird anschaulicher, wenn man es in Kurven darstellt. In dem zuletzt erwähnten Fall würde die Kurve zwei Maxima zeigen. Näheres hierüber s. im Anhang.

uns bekannten Arten durch Umwandlung aus anderen wahrscheinlich macht. Ist das der Fall, dann werden wir weiter zu untersuchen haben, durch welche in der Natur wirksamen Einflüsse die Umwandlung angeregt oder befördert werden kann.

9. Zuchtwahl.

9. Die Annahme, dass die Arten nicht absolut unveränderlich sind, und dass die jetzt lebenden Arten aus anders beschaffenen durch allmählich erfolgte Abänderungen entstanden seien, ist zu verschiedenen Zeiten von verschiedenen Forschern gemacht worden. Besonders bestimmt hat sich für dieselbe der französische Naturforscher Lamarck in seiner 1809 erschienenen Philosophie zoologique ausgesprochen. Ihm schlossen sich von Franzosen besonders Geoffroy St. Hilaire, von Deutschen Oken und Goethe an. Zu allgemeiner Geltung aber kam die Lehre erst durch die Arbeiten von Charles Darwin, welcher in einer Reihe von einander folgenden Schriften in den Jahren 1859—1872 ein reichhaltiges Material von Thatsachen und Beobachtungen zusammengetragen hat, um die Lehre fester zu begründen.

Das Wesentliche der Darwin'schen Lehre lässt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen: Die Abänderungen, welche bei Tieren und Pflanzen durch die Einflüsse der Züchtung nachweislich eintreten, beweisen, dass die Artcharaktere nicht absolut unveränderlich sind. Daraus müssen wir schließen, dass bei der Fortpflanzung der lebenden Wesen zwei verschiedene Einflüsse sich geltend machen: erstens die Vererbung, die Fähigkeit der Eltern, ihre Eigenschaften auf die Nachkommen zu übertragen; und zweitens die Variabilität, vermöge deren jedes Individuum doch wieder in irgend einer Weise von seinen Eltern abweicht.

Wenn ein Züchter diejenigen Individuen, bei welchen eine bestimmte Abweichung in etwas stärkerem Grade hervortritt, auswählt und vorzugsweise zur Nachzucht verwendet, kann er es dahin bringen, dass diese Abweichung in den späteren Generationen immer deutlicher hervortritt. Das Mittel also, durch welches die allmählichen Abänderungen immer deutlicher ausgeprägt werden, ist die von dem Züchter planmäßig betriebene Auslese der Individuen, welche eine bestimmte Variation in ausgesprochenster Weise aufweisen, und die Verwendung dieser Individuen zur Nachzucht. Dies Verfahren nennt Darwin Zuchtwahl.

Darwin sucht nun nachzuweisen, dass etwas Ähnliches auch ohne Zuthun der Menschen bei den im Naturzustande lebenden Tieren und Pflanzen vorkommt. Alle Lebewesen sind von ihrer Organisation einerseits und von ihrer Umgebung andrerseits abhängig. Nur dann, wenn beide zueinander passen, können die Individuen am Leben bleiben und Nachkommenschaft erzeugen. Sind alle Be-

dingungen für die Erhaltung des Lebens in vollem Maße gegeben, dann ist die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass viele Individuen von gleicher Beschaffenheit nebeneinander bestehen und ihnen in den wesentlichen Artcharakteren gleichende Nachkommen erzeugen werden.

Diese Vermehrung kann aber nicht ins Unbegrenzte fortgehen. Eine Pflanze kann so viele Samen erzeugen, dass man mit diesen einen großen Acker bestellen könnte; ein Fischweibchen legt auf einmal so viel Eier, dass die junge Brut einen ganzen Teich bevölkern könnte. Wenn alle diese Samen und Eier wirklich zur Entwicklung kommen sollten, so würde die Erde nicht Platz genug für alle Individuen haben. Aber es kommt in der That immer nur ein kleiner Teil zur Entwicklung; ein großer Teil geht in früher Jugend zu Grunde, und nur ein kleiner Rest bleibt so lange am Leben, um die Art fortpflanzen, d. h. Nachkommenschaft, die ihm in den wesentlichen Charakteren gleicht, erzeugen zu können.

Eine der hauptsächlichsten Ursachen, welche die unbegrenzte Vermehrung verhindern, ist der Mangel an ausreichender Nahrung. Alle Individuen derselben Art bedürfen im wesentlichen derselben Nahrung. Eine jede Pflanze bedarf eines besonderen Bodens, um auf ihm zu gedeihen. Wird auf einem Boden, welcher einer bestimmten Pflanzenart sehr zusagt, ein einziges Samenkorn dieser Art ausgesät, so ist die Möglichkeit der Vermehrung anfangs uneingeschränkt vorhanden, aber doch nur so lange, bis die Bodenfläche ganz mit Pflanzen dieser Art bedeckt ist. Denken wir uns an derselben Stelle ein Tierpaar, das sich von dieser Pflanze gut ernähren kann, so könnten sich deren Nachkommen so lange vermehren, als die vorhandene Pflanzenmenge zu ihrer Ernährung ausreicht. Und käme dann noch eine Raubtierart dazu, welcher jene Pflanzenfresser zur Nahrung dienen können, so würden diese drei Arten von Lebewesen auf der betreffenden Erdfläche in beschränkter Zahl nebeneinander bestehen, ihre weitere Vermehrung aber wäre unmöglich.

Der Fall, den wir hier vorausgesetzt haben, ist sicherlich niemals thatsächlich gegeben. Vielmehr werden überall eine Anzahl verschiedener Pflanzenarten gleichzeitig vorhanden sein und ebenso immer mehrere verschiedene Arten von pflanzenfressenden Tieren und wiederum mehrere Arten von Fleischfressern, welche sich von jenen nähren. Somit wird jede dieser Arten sich nur bis zu einem gewissen Maße vermehren können, soweit als die zu ihrer Ernährung erforderliche Nahrung reicht, und schließlich muss sich wieder ein konstantes Verhältnis zwischen allen einzelnen Arten von Pflanzen, pflanzenfressenden und fleischfressenden Tieren herstellen, so dass die Anzahl der Individuen einer jeden Art immer nur innerhalb enger Grenzen hin und her schwanken wird.

Die absolute Menge der vorhandenen Nahrung ist es nicht allein, welche auf die Vermehrung der Individuen einer und derselben Art von Einfluss ist. Viele Pflanzen, welche Tieren als Nahrung dienen könnten, werden in geringerem Maße verzehrt als andere, weil sie durch spitze Stacheln geschützt sind oder weil sie Gifte in ihren Geweben ablagern. Tiere, welche anderen als Nahrung dienen könnten, werden dem Schicksal des Gefressenwerdens entgehen, wenn sie durch geeignete Waffen sich ihrer Feinde erwehren können, wenn sie durch übelriechende Aussonderungen die Feinde verscheuchen, wenn sie schnell genug entfliehen können, oder wenn sie durch ihre der Umgebung ähnliche Färbung den Nachstellungen entgehen. Von den Fleischfressern wieder werden diejenigen im Vorteil sein, welche durch Körperkraft, Schnelligkeit, schärferes Sehvermögen oder sonstige zur Erlangung der Beute günstige Eigenschaften bevorzugt sind. Sobald aber durch einen dieser Umstände eine der vorhandenen Arten sich bis zu einer größeren Individuenzahl vermehrt hat, wird immer wieder ein Stillstand in der Vermehrung eintreten.

Neben der Vernichtung durch Nahrungsmangel oder Gefressenwerden kommen noch andere Umstände in Betracht, welche der Vermehrung Einhalt thun. Ungunst der Witterung, z. B. ein strenger Winter, ein sehr nasser Sommer, kann viele Individuen einer Art vernichten. Ihre Stelle nehmen dann andere Arten ein, welche sich in stärkerem Verhältnis als bisher vermehren, den übrig gebliebenen Individuen der verminderten Art wird es aber schwer sein, wieder zu ihrer ursprünglichen Zahl heranzuwachsen, da sie sozusagen den Tisch schon von anderen besetzt finden. Ebenso werden Krankheiten, namentlich die durch Parasiten verursachten, die Vermehrung beschränken, während Fälle von Symbiose günstig wirken können. Wie häufig Larven von Insekten in Samen von Pflanzen eindringen und sie keimunfähig machen oder ganz aufzehren und so die Vermehrung einschränken, ist bekannt. Auch die Eier von Tieren werden häufig von Parasiten vernichtet, und ebenso sind die jungen Tiere, namentlich die neugeborenen, vielen Gefahren ausgesetzt, durch welche die Individuenvermehrung erheblich eingeschränkt wird.

10. Kampf ums Dasein.

10. Stellen wir uns vor, dass die eine oder die andere dieser Schädlichkeiten in höherem Maße eintritt, so kann sie zur gänzlichen Ausrottung einer Art führen. Selbst wenn einige wenige Individuen der Vernichtung entgehen, so können sie, dem Wettbewerb mit den übrigen Arten gegenüber, sich nicht erhalten. Dass große Veränderungen in den äußeren Lebensbedingungen, namentlich des Klimas, der Verteilung von Wasser und Land, der Erhebung über

dem Meeresspiegel an den verschiedensten Stellen der Erde im Laufe der geologischen Epochen stattgefunden haben, ist unzweifelhaft. Dass sie groß genug waren, um manche Arten ganz zu vernichten, ist im höchsten Grade wahrscheinlich. Wenn es sich also nur darum handelte, zu verstehen, warum Arten, welche in früheren Perioden auf der Erde gelebt haben, ausgestorben sind, wäre die Sache sehr leicht. Es fragt sich aber, ob auch Umstände nachgewiesen werden können, welche die Entstehung neuer Arten wahrscheinlich machen.

Hier nimmt DARWIN die schon erwähnte Variabilität in Anspruch. Da die Nachkommen ihren Eltern niemals genau gleichen, so werden die aufeinander folgenden Generationen niemals ganz gleich sein, ebenso wie die gleichzeitig lebenden Individuen stets voneinander durch kleine Differenzen verschieden sind. Es kommt darauf an, zu zeigen, dass hierin im Verein mit den äußeren Umständen ein Grund zu fortwährender Abänderung gelegen sei.

Wir haben gesehen, dass die Zahl der Individuen einer jeden Art stets einem, unter den obwaltenden Umständen erreichbaren Maximum zustrebt, über dasselbe aber nicht hinausgehen kann. Zu den obwaltenden Umständen tragen alle Bedingungen bei, innere, in der Organisation der Lebewesen gelegene, wie äußere von der Umgebung abhängige. Von beiden haben wir einige Beispiele kennen gelernt. Zwar erschöpfen diese die sehr verwickelten Verhältnisse durchaus nicht; aber soviel geht doch schon aus unserer Auseinandersetzung hervor, dass von den vielen Individuen einer und derselben Art, welche gleichzeitig in einem Bezirke leben, nicht alle gleich geeignet sein werden, die Vorteile, welche ihnen ihre Umgebung bietet, auszunützen und die Nachteile derselben ohne Schädigung zu ertragen. Betrachten wir einige einfache Beispiele. Ein Tier, welches vielen Nachstellungen durch ein stärkeres Raubtier ausgesetzt ist, wird am ehesten Aussicht haben, diesen Nachstellungen zu entgehen, wenn es imstande ist, die Annäherung des Feindes rechtzeitig zu bemerken, schnell genug zu entfliehen oder sich an Orte zu flüchten, wohin ihm der Feind nicht folgen kann. Ein Raubtier dagegen wird um so eher imstande sein, sich und seinen Jungen genügende Nahrung zu verschaffen, wenn es sich möglichst unbemerkt an seine Beute heranschleichen kann, wenn es sie auch bei schwachem Licht, etwa in der Nacht und während des Schlafs zu überfallen vermag, wenn es nach vorsichtigem Heranschleichen mit einem Sprunge die Beute packen und widerstandsunfähig machen kann. Infolge solcher, zum Teil nur geringfügiger Unterschiede werden von einer großen Zahl von Individuen derselben Art einige mehr Aussicht haben, ihr Leben zu fristen, als andere. Da die Umstände es

ein für allemal unmöglich machen, dass die Zahl der Individuen ins Unbegrenzte wächst, so macht sich zwischen allen Individuen, welche gleichzeitig in einem bestimmten Bezirke leben, notwendig ein Kampf ums Dasein, wie es DARWIN genannt hat, geltend, in welchem Kampf immer diejenigen Individuen einer jeden Art den Sieg davontragen müssen, welche durch irgend einen Umstand vor ihren Artgenossen im Vorteil sind. Das sind aber diejenigen, welche am besten den sehr verwickelten Lebensverhältnissen angepasst sind, wie sie sich zur gegebenen Zeit am gegebenen Ort einmal gestaltet haben. Die Folge davon muss sein, dass der Durchschnitt einer jeden Generation in einer oder in einigen Beziehungen von der vorhergehenden merklich abweicht, da die Überlebenden alle, wenn auch jedes Einzelne nur in geringem Grade, in einer ganz bestimmten oder in einigen wenigen bestimmten Richtungen von ihren Eltern abweichend waren. Und diese Abweichungen werden im Durchschnitt vorteilhafte für die gegebenen Lebensbedingungen sein. So führt der Kampf ums Dasein zugleich zu dem Überleben der Geeignetsten, wie es HERBERT SPENCER treffend genannt hat, der schon vor DARWIN diesen Teil der Lehre in ihren Grundzügen entwickelt hat.

Diejenigen Individuen einer Art, welche den Bedingungen des Kampfes ums Dasein nicht gewachsen sind, werden in der Mehrzahl schon in früher Jugend zu Grunde gehen. Die überlebenden dagegen werden Gelegenheit finden, ihrerseits Nachkommenschaft zu erzeugen. Sie werden also, meint DARWIN, gerade die Eigenschaften, durch welche sie von den anderen Individuen ihrer Art sich unterscheiden, auf ihre Nachkommen vererben. Die dritte Generation wird also in einer oder einigen bestimmten Richtungen noch weiter von der Stammart abweichen. Indem sich dies von Generation zu Generation fortsetzt, muss in der freien Natur dasselbe eintreten, was bei der künstlichen Zuchtwahl durch den Willen des Menschen gegeben ist. Man kann daher, sagt er, von einer natürlichen Zuchtwahl sprechen, welche dahin führt, die Artcharaktere allmählich abzuändern und neue Arten zu schaffen.

Das ist in großen Zügen der Inhalt der von DARWIN neubegründeten Lehre von der Entstehung der Arten. Sie im einzelnen zu verfolgen und alle die Gründe für und wider dieselbe, welche in den letzten vierzig Jahren einen sehr breiten Raum in der biologischen Litteratur einnehmen, im einzelnen zu erörtern, ist nicht meine Absicht. Gewiss bietet sie noch manche Schwierigkeit. Wir müssen wohl unterscheiden zwischen der Grundannahme, der Veränderlichkeit der Arten und der daraus abgeleiteten Annahme von der allmählichen Entstehung der jetzigen Lebensformen aus anderen, und den ver-

schiedenen Vermutungen und Annahmen über die besonderen Umstände, welche zu diesen Veränderungen Anlass gegeben haben. Die allmähliche Veränderung der Arten, die Descendenzlehre, d. h. die Annahme, dass die jetzt lebenden Arten aus anderen hervorgegangen sind, wird durch so zahlreiche Thatsachen gestützt, dass sie als eine wohlbegründete Theorie bezeichnet werden kann. Was aber die Einwirkungen anlangt, welche in den einzelnen Fällen zu diesen Umbildungen geführt haben, so kommen neben den von Darwin hervorgehobenen Umständen noch viele andere in Betracht, auf welche wir nicht im einzelnen eingehen, weil die Anschauungen der Biologen noch nicht genügend übereinstimmen, um die Aufstellung einer allgemeingiltigen Lehre zu gestatten.

11. Phylogenie.

11. Wäre es möglich, die Entstehung einer jeden uns bekannten Form von Lebewesen rückwärts zu verfolgen, könnte man, mit andern Worten, die Stammbäume dieser Lebeformen aufstellen, so würde sich daraus die Geschichte der Lebewelt ergeben. Wenn man bedenkt, wie schwierig die Aufstellung eines über mehrere Generationen zurückreichenden Stammbaumes für eine einzelne menschliche Familie häufig ist, wird man sich nicht wundern, dass die Schwierigkeiten für die gesamte Lebewelt noch viel größer, ja geradezu unüberwindlich sind. Wie die Geschichte der Völker überall, wo gut beglaubigte Nachrichten fehlen, mühsam aus spärlich erhaltenen Überresten erschlossen werden muss, so geht es uns mit der Geschichte der aufeinander folgenden Lebensformen. Nur in sehr vereinzelten Fällen können wir uns auf historisch beglaubigte Nachrichten stützen. Sonst sind wir auf die sehr unvollständigen und zudem schwer zu deutenden palaeontologischen Urkunden und auf Schlüsse angewiesen, welche aus den Thatsachen der vergleichenden Anatomie und der Entwicklungsgeschichte gezogen werden können.

Die palaeontologischen Funde haben eine ganze Reihe von Lücken zwischen weit voneinander stehenden Lebewesen ausgefüllt. Je vollständiger wir die mannigfachen Formen der Lebewelt, die jetzt bestehenden wie die ausgestorbenen, kennen lernen, desto mehr füllen sich die Lücken zwischen den einzelnen Gliedern aus, desto vollkommener lässt sich die Kap. 12 § 2 erwähnte Anordnung in Gestalt eines aus gemeinsamer Wurzel sich entfaltenden Baumes durchführen. Selbst zwischen verschiedenen Klassen treten Bindeglieder auf, wie das Beispiel des im lithographischen Schiefer von Solnhofen in Bayern gefundenen Urvogels, *Archaeopteryx lithographica* (Fig. 132 lehrt), eines echten Vogels, welcher aber deutlich den Ursprung aus einem Reptil erkennen lässt; oder wir finden die Zeichen allmählichen Übergangs zu scheinbar ganz vereinzelt da-

stehenden Bildungen, wie die Umbildung der Zehen zum Huf bei den jetzigen Equiden. Namentlich die geologische Durchforschung Nordamerikas, welche erst in neuerer Zeit in Angriff genommen worden ist, hat zu einer mächtigen Erweiterung und Vervollständigung der Kenntnis vorweltlicher Lebensformen geführt, und jedesmal wurden dadurch Lücken in dem Zusammenhang der bekannten Lebensformen ausgefüllt. Wir dürfen daraus wohl schließen, dass dies mit der weiteren geologischen Durchforschung der zugänglichen Teile der Erdrinde noch weiter der Fall sein wird. Damit gewinnt aber die Annahme eines einheitlichen Ursprungs aller Lebensformen aus einer gemeinsamen Stammform an innerer Wahrscheinlichkeit.

Fig. 132.

Archaeopteryx lithographica, im Solnhofer lithographischen Schiefer aufgefunden, ein Vogel, welcher durch Zähne und bekrallte Finger, sowie zahlreiche Schwanzwirbel den Reptilien nahe steht. 1 Clavicula, 2, 3, 7 Finger, 4 Ulna, 5 Tarso-tibiale, 6 Metatarsus, 8 Schwanzwirbel, 9 Zähne.

Erhält durch solche neue Funde die vergleichende Anatomie der Lebensformen ihre Abrundung, und wird es dadurch möglich, aus Ähnlichkeiten im Bau der Tiere und Pflanzen Schlüsse auf die etwa vorhandene Verwandtschaft zu ziehen, so werden die hierauf begründeten Vermutungen erweitert durch Erfahrungen, welche aus der Entwicklungsgeschichte stammen. Alle Lebewesen ohne Ausnahme haben ihren Ursprung in einer Zelle. Insofern sind die Anfangsstadien aller Lebewesen einander gleich. Während die niederen Pflanzen und Tiere auf dieser Formstufe stehen bleiben, treten bei den Metaphyten und Metazoen mit der Teilung und Differenzierung der Zellen und der dadurch gegebenen Anlage der Organe nach und nach immer größere Unterschiede auf. Daher ist es um so schwieriger, ein sich entwickelndes Lebewesen richtig zu bestimmen, je frühere Entwicklungsstufen zur Untersuchung vorliegen. Nicht nur sehr junge Embryonen einer und derselben Klasse, z. B. von Säugetieren,

sehen einander ähnlich, auf noch früheren Stadien macht sogar die Unterscheidung von sehr weit auseinanderstehenden Formen Schwierigkeiten. Ich erinnere an die schon früher erwähnte Gastrulaform (vgl. Kap. 13 § 10), welche als vorübergehendes Entwicklungsstadium fast bei allen Metazoen in wesentlich gleicher Form auftritt. Bei der weiteren Entwicklung werden dann nicht selten einzelne Organe angelegt, welche wieder verschwinden, während sie bei anderen Lebewesen bestehen bleiben. So findet man bei allen Wirbeltieren in einem gewissen Stadium der Entwicklung Kiemenbögen. Während sie aber bei niederen Wirbeltieren sich zu dem dauernden Kiemenapparat entwickeln, werden sie bei den höheren zum Teil zurückgebildet, zum Teil zum Aufbau anderer Organe verwendet. Diese und viele ähnliche Thatsachen legen die Hypothese nahe, dass die vorübergehende Anlage von Organen, welche, wie die Kiemen bei Lungentieren, niemals in Funktion treten, auf einer ererbten Anlage beruhe, dass also jene Tiere von Vorfahren abstammen, welche mit Kiemen atmeten. Diese Betrachtung hat einen verallgemeinerten Ausdruck in dem Satz gefunden: Die während der Entwicklung aufeinanderfolgenden Formen wiederholen bei einem jeden Lebewesen (in abgekürzter Weise) die Formenreihe, welche die Vorfahren des Lebewesens im Laufe der Zeit durchlaufen haben. Diese zuerst von HAECKEL scharf formulierte und mit dem Namen biogenetisches Grundgesetz belegte Hypothese bietet eine Grundlage, um aus der Geschichte der Entwicklung eines Lebewesens (der Ontogenie) Schlüsse auf die Stammesgeschichte (Phylogenie) zu ziehen.

12. Die Erforschung der Stammesgeschichte hat es mit Aufgaben historischer Natur zu thun. Leider aber sind die Urkunden, welche von der Aufeinanderfolge der Formen berichten, lückenhaft, nicht immer unzweideutig und oft schwer zu entziffern. So kommt es, dass die Schlussfolgerungen, welche in einzelnen Fällen aus den Thatsachen der vergleichenden Anatomie und der Entwicklungsgeschichte gezogen werden, nur hypothetische bleiben. Dagegen darf die Annahme der allmählichen Differenzierung der Lebensformen aus einfacheren als wohlbegründet angesehen werden. Auf dem Boden dieser Annahme gewinnen viele Thatsachen, welche sonst vereinzelt dastünden, erst einen klaren Zusammenhang. 12 Zweckmäßigkeit und Anpassung.

Von jeher hat die in der organischen Natur in so auffälliger Weise herrschende Zweckmäßigkeit die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Mit ihr in grellem Widerspruch steht das Vorkommen von Organen oder Organresten, welche bei den Lebenserscheinungen gar nicht in Thätigkeit treten. Aus der von DARWIN angenommenen

natürlichen Auslese ergiebt sich die logische Konsequenz, dass Lebewesen, welche für die Erhaltung ihres Lebens besser ausgerüstet waren, andere weniger gut ausgerüstete verdrängen und schließlich allein übrig bleiben mussten. Auf diese Weise mussten sich also immer mehr Formen ausbilden, welche den Bedingungen, unter denen sie leben, am besten angepasst sind. Daneben macht sich aber die Vererbung geltend; Organe, welche den Vorfahren nützlich oder sogar unentbehrlich waren, weil diese unter anderen äußeren Bedingungen lebten, treten auch bei ihren Nachkommen, welche dieselben gar nicht mehr gebrauchen können, auf, bei den einen nur im Laufe der Entwicklung, um wieder zu degenerieren, bei anderen aber dauernd. Ob das eine oder das andre eintritt, wird von der Zeit abhängen, während welcher das betreffende Organ wirklich funktionsfähig war, und von der Zeit, seit welcher es aufgehört hat zu funktionieren. Je länger die erstere war, desto fester wird es in die Gesamtheit der Organisation eingefügt sein, desto stärker wird seine Übertragung durch Vererbung sich geltend machen. Je längere Zeit dagegen seit dem Aufhören seiner Funktion verflossen ist, desto leichter wird es in seiner Entwicklung zurükbleiben und im ausgebildeten Lebewesen nur noch als rudimentäres Organ nachgewiesen werden können.

Es ist nicht unsere Aufgabe, alle die Thatsachen, welche in dieser Beziehung bekannt sind, einzeln und ausführlich zu besprechen. Die Physiologie kann nur diejenigen Lebenserscheinungen in den Bereich ihrer Untersuchungen ziehen, welche in den jetzt lebenden Wesen ablaufen, denn nur diese sind der Beobachtung oder experimentellen Untersuchung zugänglich. Auch innerhalb dieses Gebiets ist noch vieles unerforscht, und wir mussten uns bei dem Versuch, die allgemeingiltigen Gesetze darzustellen, oft genug mit vorläufigen Hypothesen behelfen oder einfach unsre Unkenntnis bekennen. Das gilt in noch viel höherem Grade von den in den letzten Kapiteln besprochenen Fragen, welche nur zum kleinen Teil schon der experimentellen Untersuchung unterzogen worden sind, zum Teil derselben gar nicht unterworfen werden können.

Bei der Untersuchung der Lebenserscheinungen muss es immer unser Bestreben sein, dieselben auf die besser bekannten Erscheinungen der unbelebten Natur so viel als möglich zurückzuführen. In vielen Fällen ist dies schon gelungen, in anderen nicht, vielleicht nur deshalb, weil die Bedingungen, unter denen sich die Erscheinungen vollziehen, zu verwickelte sind, als dass man sie ganz in ihre einfachen Komponenten zerlegen könnte. Was uns bis jetzt nicht gelingt, kann jedoch bei tieferer Kenntnis der Erscheinungen sehr wohl möglich sein. Wir haben keinen Grund zu

der Annahme, dass die Eigenschaften der Materie andere werden könnten, wenn sie Teil eines lebenden Wesens wird, oder dass die Gesetzmäßigkeiten, welche wir bei den Vorgängen in der nicht-belebten Natur kennen gelernt haben, innerhalb der Lebewesen nicht ganz in der gleichen Weise Geltung haben. Eine solche Annahme konnte Anklang finden, als man noch gewohnt war, Erscheinungen, die man nicht zergliedern konnte, als Wirkungen von „Kräften“ zu bezeichnen. Damals sprach man auch von einer „Lebenskraft“, welche alle Erscheinungen der lebenden Wesen „lenke und regiere“. Wir haben jetzt eingesehen, dass solche Annahmen zum Verständnis der Erscheinungen nichts beitragen, sogar der weiteren Erforschung derselben hinderlich sind. Wir begnügen uns lieber damit, unsere mangelhafte Kenntnis einzugestehen und durch eifriges Studium der Einzelerscheinungen die Zeit vorzubereiten, wo auch für die verwickeltsten Aufgaben die Zurückführung auf einfache, bekannte Erscheinungen möglich sein wird.

Anhang.

Funktionsverhältnis. Graphische Darstellung und graphische Methoden.

(Zu S. 57, 61 und 567.)

1. Zahlenreihen, welche zueinander im Funktionsverhältnis stehen, gleichgiltig ob sie durch experimentelle Untersuchung oder durch statistische Zählungen gewonnen worden sind, lassen sich immer in Tabellenform darstellen, wie aus den Beispielen auf S. 53 und 58 ersichtlich ist. Soll zum Ausdruck gebracht werden, dass zwei Reihen von Größen in einer derartigen Beziehung stehen, dass zu jedem bestimmten Wert der einen Reihe ein, unter Umständen auch mehr als ein bestimmter Wert der anderen Reihe gehört, so können wir das durch die allgemeine Funktionsformel $x = f(y)$ thun. In ihr stellen, wie im Text dargelegt wurde, x und y zwei veränderliche Größen oder Variable dar. Ist die Art des Funktionsverhältnisses durch eine bestimmtere Formel ausdrückbar, so lässt sich für jeden Wert von x der zugehörige Wert von y und umgekehrt berechnen. Die so berechneten Werte können dann wieder in einer Tabelle zusammengestellt werden. Anschaulicher aber wird das Verhältnis, wenn man es durch ein der analytischen Geometrie entlehntes Verfahren graphisch darstellt. Da dieses Verfahren vielfache Anwendung findet, so soll dasselbe hier in seinen Grundzügen kurz besprochen werden.

Als Beispiel wählen wir die im Text eingehend besprochenen Versuche, durch welche das Fallgesetz festgestellt worden ist. Wir sind dort zu dem Ergebnis gelangt, dass die zwischen den Fallzeiten und den durchfallenen Räumen bestehende Beziehung ausgedrückt werden kann durch die Formel $s = a t^2$, in welcher s und t variable Größen sind, a dagegen eine Konstante, welche an jedem Ort der Erde einen ganz bestimmten unveränderlichen Wert hat

(vgl. die Anm. auf S. 69). Der Fallraum kann in Centimetern oder in irgend einem anderen Längenmaß gemessen werden. Um ihn in einer Zeichnung darzustellen, messen wir auf einer geraden Linie OX (Fig 133) von O aus mit einem beliebigen Maßstab die Länge Oa = a ab. Teilen wir dann die Linie Ox mit diesem Maß weiter, so erhalten wir die Größen Oa = a, Ob = 4a, Oc = 9a, Od = 16a, welche als Darstellungen der Fallräume dienen.

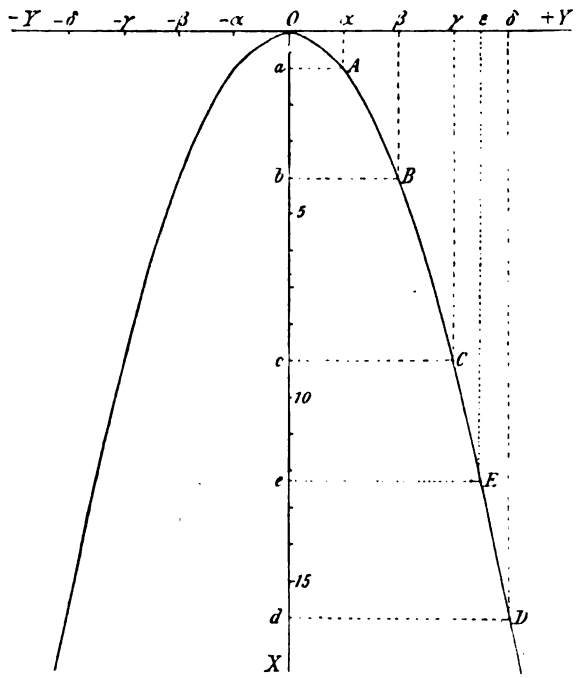


Fig. 133.

Parabel als bildliche Darstellung des zeitlichen Verlaufs beim freien Fall. Die Ordinatenachse — Y O + Y stellt die Zeiten dar, gemessen vom Punkte O aus, dem Nullpunkt des Koordinatensystems. Rechts sind die nach Beginn des Fallens verflossenen Zeiten als positive, links die ihm voraufgegangenen Zeiten als negative Größen dargestellt. Auf der Abscissenachse OX sind die Fallräume abgetragen.

Die Werte von t werden in Sekunden gemessen. Da die Zeit nur eine Dimension hat (vgl. S. 92), so kann sie auch durch eine gerade Linie dargestellt werden. Eine beliebige Längeneinheit soll die Zeiteinheit (1 sek.) darstellen. Es sei dies die Länge $O\alpha$. Um die Linien, welche die Fallzeiten darstellen, von denen zu unterscheiden, welche die Fallräume darstellen, zeichnen wir sie in einer anderen Richtung als jene. In der Regel wählt man dazu die auf

der Linie OX senkrechte, welche in unserer Figur mit OY bezeichnet ist. Wir erhalten so die Längenwerte $O\alpha$, $O\beta$, $O\gamma$, $O\delta$ als bildliche Darstellungen von 1 Sekunde, 2 Sekunden u. s. w.

Nun errichten wir im Punkte a ein Lot auf OX und im Punkte α ein Lot auf OY; beide schneiden sich im Punkte A. Ebenso verfahren wir in den Punkten b und β, c und γ, d und δ, welche Lote sich in B, C und D schneiden. Wir erhalten so eine Anzahl von Rechtecken, deren gegenüberliegende Seiten gleich sind. Es ist also $aA = O\alpha$ und $\alpha A = Oa$, $bB = O\beta$ und $\beta B = Ob$, $cC = O\gamma$ und $\gamma C = Oc$, $dD = O\delta$ und $\delta D = Od$. Jedes dieser Linienpaare stellt also zwei nach der Formel zusammengehörige Werte dar. Man nennt deshalb die beiden jeweils zueinander gehörigen Linien Koordinaten und die beiden Hilfslinien, mit deren Hilfe die Konstruktion gemacht wurde, OX und OY, die Achsen des (in unserem Falle rechtwinkligen) Koordinatensystem s. OX heißt die X-achse oder auch Abscissenachse und ihre einzelnen Abschnitte Abscissen; OY nennt man die Y-achse oder Ordinatenachse und ihre einzelnen Abschnitte Ordinaten. Zu jeder Abscisse gehört eine Ordinate und umgekehrt. Ist eine bestimmte Abscisse gegeben, so findet man die zugehörige Ordinate, da das Funktionsverhältnis, in welchem beide zueinander stehen, durch die Formel genau bestimmt ist.

Ebenso wie für die Punkte a und α, b und β u. s. w. hätten wir die Konstruktion auch für andere Punkte der Abscissen- und Ordinatenaxe ausführen können. Zu dem Ordinatenwert $O\varepsilon$, welcher den Wert von $3^1/_2$ Sekunden darstellt, gehört der Abscissenwert $Oe = 12^1/_4 a$. Die entsprechenden Linien schneiden sich im Punkte E, welcher zwischen C und D liegt. Je mehr solcher Punkte man bestimmt, desto mehr ordnen sie sich zu einer regelmäßigen Kurve. Die genauere Untersuchung derselben lehrt, dass sie die Eigenschaften einer Parabel hat, wie man sie erhält, wenn man einen geraden Kegel parallel zu seine Achse von einer Ebene durchschneiden lässt.

Eine Parabel besteht aus zwei symmetrischen Hälften, von denen in unserer Konstruktion nur die eine zum Vorschein gekommen ist. Ersetzt man die Formel $s = at^2$, welche unserer Konstruktion zu Grunde liegt, durch die mit ihr gleichbedeutende $t = \pm\sqrt{\frac{s}{a}}$ (vgl. S. 57), so sieht man, dass zu jedem Abscissenwerte von s zwei gleiche Ordinatenwerte, ein positiver und ein negativer, gehören. Stellt man die negativen Werte von t, um sie von den positiven zu unterscheiden, durch Abmessung nach der entgegengesetzten Seite

vom Punkte O aus dar und konstruiert für diese (in unserer Figur auf der linken Seite von O) die Kurve in gleicher Weise wie vorher, so erhält man den anderen Schenkel der Parabel.

In unserer Darstellung bedeutet O den Moment, in welchem der Fall eines Körpers beginnt, und zugleich den Punkt im Raume, von welchem das Fallen ausgeht. Dieses Fallen erfolgt mit beschleunigter Geschwindigkeit; unten angekommen, hat jeder Körper eine Geschwindigkeit, welche der Fallzeit direkt proportional ist. Wird ein Körper mit einer gewissen Geschwindigkeit vertikal aufwärts geschleudert, so steigt er mit verzögerter Geschwindigkeit genau bis zu derjenigen Höhe, von welcher er fallen müsste, um die gleiche Geschwindigkeit zu erlangen, und braucht dazu dieselbe Zeit wie zum Fallen. Wenn wir die Aufwärtsbewegung in der gleichen Weise konstruktiv darstellen und dabei die Zeiten von dem Moment messen, wo der Körper den höchsten Punkt erreicht hat, so müssen wir die Zeiten des Aufsteigens, weil sie vor jenem Moment liegen, als negativ ansehen. Diese Zeiten werden also durch die Linien O-α, O-β u. s. w. naturgemäß dargestellt, und der linke Teil unserer Figur ist eine getreue Verbildlichung der Vorgänge beim Aufsteigen, wie der rechte Teil die Vorgänge beim Fallen veranschaulicht.

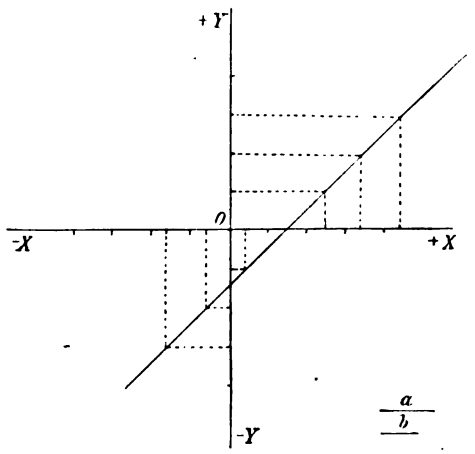


Fig. 134.

Gerade Linie, Darstellung der Formel $x=a+by$. a und b die beiden Konstanten, $-X+X$ die Abscissenachse, $+Y-Y$ die Ordinatenachse. Auf ersterer sind die positiven Werte rechts, die negativen links gezeichnet, auf letzterer die positiven Werte oben, die negativen unten.

In ganz gleicher Weise können wir jedes andere durch eine bestimmte Formel gegebene Funktionsverhältnis durch ihre Koordinaten bildlich darstellen. Wir erhalten dabei je nach der Formel Kurven verschiedener Art. Machen wir z. B. die Konstruktion für die Formel $x=a+by$. In ihr haben wir wieder zwei Variable, x und y, und zwei Konstanten a und b. Für $y=0$ wird $x=a$,

für $y=1$ wird $x=a+b$, für $y=2$ wird $x=a+2b$, für $y=-1$ wird $x=a-b$ u. s. f. Indem wir so die Werte von x für verschiedene positive und negative Werte von y berechnen und in das Koordinatensystem eintragen, gelangen wir zu einer der Formel entsprechenden Kurve, welche sich jedoch, weil nach der Formel die Werte von x proportional den Werten von y zu- und abnehmen, als eine gerade Linie ausweist.

2. Gehen wir jetzt dazu über, das gleiche Verfahren auf den Fall anzuwenden, dass durch Versuche oder durch statistische Erhebungen zwei Größenreihen gefunden worden sind, dass aber die Beziehungen der Größen zueinander nicht durch eine bestimmte Formel, sondern nur durch die allgemeine $x=f(y)$ gegeben sind. Trägt man die empirisch gefundenen, zueinander gehörigen Werte von x und y in ein Koordinatensystem ein und verbindet man die Endpunkte der Ordinaten miteinander durch gerade Linien, so erhält man eine Zeichnung, welche den Wert einer Tabelle hat. Wenn aber eine größere Anzahl von Koordinaten bestimmt sind, so dass die abgemessenen Ordinaten einander nahe stehen, so kann man versuchen, durch ihre oberen Endpunkte eine zusammenhängende Kurve zu legen. Sind für gleiche oder fast gleiche Abscissenwerte Ordinatenwerte gefunden worden, welche wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler oder Zufälligkeiten bei statistischen Erhebungen etwas voneinander verschieden sind, so lässt man die Kurve zwischen ihnen durchgehen, da der wahrscheinlich richtige Wert ungefähr dem arithmetischen Mittel der empirisch gefundenen Werte entsprechen muss. Fig. 135 stellt die Konstruktion einer solchen Kurve dar; die durch Versuch gefundenen Ordinatenwerte sind durch Punkte angedeutet.

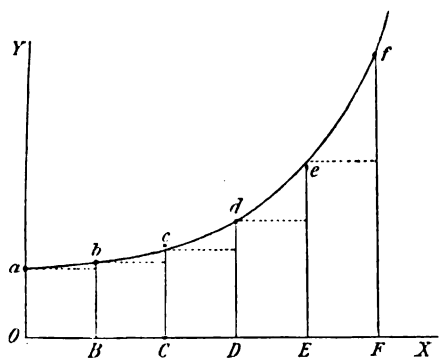


Fig. 135.

Nach Versuchsergebnissen konstruierte Kurve. Die zu den Abscissenwerten *O*, *OB*, *OC* u. s. w. gehörigen, durch Versuche gefundenen Werte sind durch die Punkte *a* bis *f* angezeichnet. Die Kurve wurde durch die Punkte *a*, *b*, *d* und *f* gelegt, in der Annahme, dass *c* und *e* infolge von Versuchsfehlern unrichtig bestimmt worden seien.

Auch wenn es nicht gelingt, für eine derart aus empirisch gewonnenen Daten konstruierte Kurve eine Formel zu berechnen,

kann man doch schon aus der Form derselben wertvolle Schlüsse ziehen. Vergleichen wir die Kurven Fig. 133 und Fig. 135, so fällt auf, dass bei ersterer die konkave, bei letzterer die konvexe Krümmung der Abscissenachse zugewendet ist. Bei ersterer wachsen die Ordinaten langsamer als die Abscissen, bei letzterer ist es umgekehrt. Die Zuwachse der Ordinaten sind hier für gleichen Abscissenzuwachs anfangs gering, werden aber mit steigenden Abscissenwerten immer größer. Das Gleiche gilt für den Anfang der Kurve Fig. 136 (S. 584); dann aber kehrt sich bei letzterer das Verhältnis um. Die Kurve, welche anfangs ihre Konvexität der Abscissenachse zuwendet, wird gegen die Abscisse konkav und gegen das Ende wieder konvex. An den Stellen, wo diese Übergänge stattfinden, verläuft die Kurve fast geradlinig. Man nennt diese Stellen Wendepunkte. Zugleich unterscheidet sich letztere Kurve von allen vorhergehenden dadurch, dass sie ein Maximum zeigt; die dem Abscissenwert PM zugehörige Ordinate ist größer als alle vorhergehenden und nachfolgenden.

Wie man sieht, kann man aus der Gestalt solcher nach empirisch gewonnenen Daten konstruierten Kurven allerlei wertvolle Schlüsse auf die Art des Zusammenhangs der beiden funktionell verbundenen Größenreihen ziehen, auch wenn es nicht gelingt, eine Formel aufzufinden, welche dem Verlauf der Kurve entspricht.[1]) Vor allen Dingen aber gewährt die Konstruktion dadurch Nutzen, dass sie gestattet, für thatsächlich nicht bestimmte Stellen ihres Verlaufs die entsprechenden Werte zu bestimmen. Man nennt dieses Verfahren graphische Interpolation zum Unterschied von derjenigen durch reine Rechnung (vgl. S. 61). Kann man die Richtigkeit der durch Interpolation gefundenen Werte durch neue Versuche prüfen, so dient dies zur Bestätigung oder Berichtigung der Kurve, bis man zu einer solchen gelangt, welche den praktischen Bedingungen der Untersuchung hinlänglich entspricht.

3. Als Beispiel der Anwendung von Kurvenkonstruktion auf physiologische oder, allgemeiner gesprochen, biologische Probleme gehen wir etwas näher auf die statistischen Untersuchungen über Variabilität ein, von denen in Kap. 21 § 8 die Rede war. Ist

[1]) Es ist in allen Fällen möglich, nach gewissen Regeln der Analysis eine empirische Formel von der Form $x = e + ay + by^2 + cy^3 \ldots$ aufzustellen, welche eine Anzahl von Gliedern enthält, die nach Potenzen der einen Variablen aufsteigen. e, a, b, c sind empirisch zu bestimmende Konstanten. Man schreitet zu so vielen Gliedern fort, bis die berechneten Werte mit den gefundenen hinlänglich stimmen. In der Regel genügen schon die zwei oder drei ersten Glieder.

durch eine möglichst große Zahl von Messungen und Zählungen ein sehr großes Material über das Vorkommen einer bestimmten Variation festgestellt und in Prozenten der sämtlichen gemessenen Individuen umgerechnet, so schreitet man zur Konstruktion einer Kurve, indem man die gemessenen Größen[1]) als Abscissen, die dazu gehörigen Prozentsätze der Individuen als Ordinaten in das Koordinatensystem einzeichnet. Man erhält dann Kurven von der Form, wie sie Fig. 136 zeigt, welche ganz den S. 567 gestellten Bedingungen entspricht. Der Mittelwert kommt am häufigsten vor, ihm schließen sich diejenigen an, welche nur wenig vom mittleren Wert, sei es nach oben oder nach unten, abweichen; je größer die Abweichungen vom Mittel sind, desto weniger zahlreich kommen sie vor, bis schließlich bei U die untere, bei O die obere Grenze aller beobachteten Fälle erreicht wird. Der Unterschied zwischen dem größten und kleinsten überhaupt zur Beobachtung gekommenen Wert der untersuchten Eigenschaft, in der Kurve ausgedrückt durch die Abscissenstrecke UO, heißt der Abänderungsspielraum.

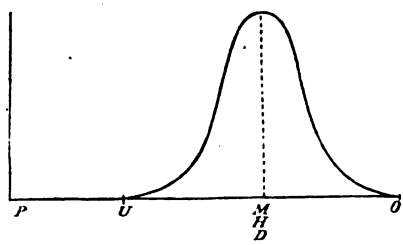


Fig. 136.

Normale Variabilitätskurve, nach statistischen Erhebungen entworfen. *PU* **kleinster,** *PO* **größter gemessener Wert,** *UO* **Abänderungsspielraum,** *PM* **Mittelwert aus allen Messungen. Die Ordinaten bezeichnen die Häufigkeit der zu jeder einzelnen Messungsgruppe gehörigen Einzelfälle, in Prozenten sämtlicher Zählungen. Die Kurve ist symmetrisch. Die Ordinate der größten Häufigkeit fällt mit der Halbirungslinie der von der Kurve begrenzten Fläche und ihr Fußpunkt mit dem Mittelwert** *M* **zusammen.**

Innerhalb dieser Grenzen kommen Variationen stets vor, als Folgen der den Lebewesen zukommenden Eigenschaft der Variabilität. Die immer vorhandenen Unterschiede in der Beschaffenheit der Eltern sowie die Einflüsse, welche bei der Befruchtung, während der Entwickelung des Eies und im Jugendzustand des Individuums eingewirkt haben, sind für sie bestimmend. Gehen die Variationen über gewisse Grenzen hinaus, so können sie dem Individuum nachteilig werden. Diese vereinzelt vorkommenden extremen Abweichungen vom Mittelwert werden durch die natürliche Zuchtwahl immer wieder ausgemerzt. Die bedeutenden Abweichungen werden also immer selten sein und als Kuriosa aus-

[1]) In dem S. 567 gewählten Beispiel waren dies die Körperlängen; es kann aber auch jede andere der Variation unterworfene Eigenschaft sein, sofern sie nur messbar und in Zahlen ausdrückbar ist.

nahmsweise zur Beobachtung kommen (Zwerg- und Riesenbildungen u. d. g.) Kommen sie bei Haustieren oder Kulturpflanzen vor, so können sie zum Gegenstand der künstlichen Zuchtwahl gemacht werden und zum Ausgangspunkt neuer Rassen mit anderen Eigenschaften werden. Wenn sich aber die äußeren Lebensbedingungen in solcher Weise ändern, dass die extremen Formen sich besser erhalten können, so werden die nach der einen Richtung stärker abweichenden Formen jetzt nicht mehr so selten auftreten. Dagegen können die nach der entgegengesetzten Seite vom Mittel abweichenden extremen Formen vielleicht weniger gut den neuen Bedingungen entsprechen, werden seltener oder sterben ganz aus. So lange dieser Abänderungsprozess im Gange ist, zeigt sich das an der Gestalt der Kurve dadurch, dass die beiden Schenkel derselben unsymmetrisch werden, wie man in Fig. 137 sieht. Die größte Häufigkeit fällt dann nicht mehr mit dem mittleren Wert zusammen. Schreitet dieser Prozess allmählich weiter fort, so verschiebt sich bei aufeinander folgenden Untersuchungen die Kurve auf der Abscissenaxe und nimmt, wenn der Prozess zum Stillstand kommt, wieder regelmäßige Gestalt an, aber mit anderen Abscissen- und Ordinatenwerten.

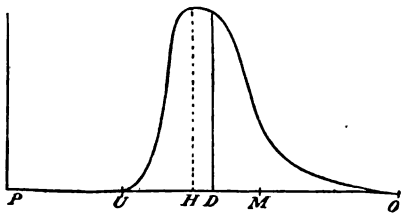


Fig. 137.

Asymmetrische Variabilitätskurve als Ausdruck eines Einflusses, welcher die höheren Variabilitätswerte begünstigt. *PU* kleinster, *PO* größter gemessener Wert, *PM* Mittelwert, *H* größte Häufigkeit, *D* Ordinate, welche die Kurvenfläche halbiert.

4. In den vorstehenden Betrachtungen waren es experimentell oder statistisch festgestellte Zahlenwerte, welche zur Konstruktion von Kurven verwertet wurden, sei es behufs genauerer Untersuchung des Funktionsverhältnisses, sei es nur zu dem Zweck, die Ergebnisse der Untersuchung anschaulicher darzustellen. Wenn es sich um Untersuchung von Bewegungen handelt, so kann man auch den umgekehrten Weg einschlagen; man so kann die Bewegung in Gestalt einer Kurve aufzeichnen lassen, an dieser die Abmessungen vornehmen und so die Zahlenwerte feststellen. Dieses sogenannte Registrierverfahren ist nicht auf Bewegungsvorgänge gewöhnlicher Art beschränkt. Es kann überall Anwendung finden, wo Vorgänge irgend welcher Art in Bewegungen umgesetzt werden können. Der Scharfsinn der Experimentatoren hat eine sehr große Zahl von

registrierenden Apparaten ersonnen, welche für wissenschaftliche wie für technische Zwecke vielfach Anwendung finden. Namentlich in der Physiologie sind diese graphischen Untersuchungsmethoden viel in Gebrauch; eine Auseinandersetzung über das ihnen zu Grunde liegende Prinzip als Ergänzung des in Kap. 3 Gesagten ist deshalb hier wohl am Platz.

Jede Bewegung kann dargestellt werden als ein Funktionsverhältnis zwischen der Zeit und den Orten, an welchen sich der bewegte Körper zu den verschiedenen Zeiten befindet. Schlagen wir ein Eisenbahnkursbuch auf, so finden wir neben den Namen der Stationen die Zeiten angegeben, zu welchen jeder Zug die betreffende Station erreicht und verlässt. Statt dessen kann man auch eine bildliche Darstellung wählen, indem man die Stationen je nach ihrer Entfernung von der Ausgangsstation (in Kilometern gemessen) auf der Abscissenachse, die Zeiten, gemessen in Minuten seit dem Abgang von der Anfangsstation, auf der Ordinatenachse abmisst und die zueinander gehörigen Koordinatenwerte nach den oben gegebenen Regeln einträgt. Dasselbe gilt von jeder anderen Bewegung; immer wird die Entfernung des in Bewegung befindlichen Körpers von irgend einer bestimmten Stelle, welche als Nullpunkt des Koordinatensystems anzusehen ist, als Funktion der Zeit dargestellt werden können. Die Aufzeichnung der so entstehenden Kurven wird beim graphischen oder Registrierverfahren durch den bewegten Körper selbst bewirkt.

Angenommen, wir wollten die Art der Bewegung einer schwingenden Stimmgabel genauer erforschen. Wir befestigen an der einen Zinke eine möglichst leichte Schreibspitze, etwa das Ende einer Schweinsborste, und lassen diese gegen eine glatte Papier- oder Glasfläche lehnen, welche mit einer zarten Rußschicht überzogen ist. Wird die Stimmgabel in Schwingung versetzt, so bewegt sich die Spitze an der Schreibfläche entlang, und diese Bewegung wird sichtbar durch Fortwischen des Rußes. Wir können auf diese Weise das sicht- und messbar machen, was wir S. 93 die Elongation genannt haben.

Wenn die Zinken der Stimmgabel horizontal stehen, wird die schwingende Bewegung eine vertikale Linie aufschreiben. Lassen wir sie zur Ruhe kommen und bewegen die Schreibtafel in horizontaler Richtung an der Spitze vorbei, so schreibt diese eine horizontale Linie. Geschieht diese Bewegung mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so ist die Entfernung der Spitze von ihrem Ausgangspunkt in jedem Augenblick proportional der seit dem Verlassen jenes

Punkts verflossenen Zeit. Geschehen beide Bewegungen gleichzeitig, so schreibt die Spitze eine wellenförmige Kurve, deren Ordinaten die jeweiligen Elongationen, deren Abscissen die Zeiten darstellen. Die Schwingungen der Stimmgabeln erfolgen ganz regelmäßig, die Dauer der aufeinander folgenden Schwingungen ist immer die gleiche. Man kann deshalb die beschriebene Aufzeichnung der Schwingungen als Kontrole für die Gleichförmigkeit der Bewegung benutzen oder auch die Zeiten an der Zahl der Schwingungen und ihrer Unterabteilungen oder Phasen abmessen.

In gleicher Weise kann jede andere Bewegung aufgeschrieben werden, wenn man mit dem bewegten Körper eine Schreibvorrichtung verbinden kann. Sind die Bewegungen sehr klein, so kann man sie durch Übertragung auf Fühlhebel vergrößern, indem man die Schreibfeder am langen Hebelarm anbringt. Statt der berußten Glasplatte kann man einen mit berußtem Papier überzogenen Cylinder benutzen, welcher sich um seine Achse dreht, oder einen Papierstreifen, welcher über eine rotierende Walze fortgeschoben wird. Es kommt immer nur darauf an, dass die Bewegung der Schreibfläche senkrecht zu der Bewegung der Schreibspitze und mit möglichst gleichförmiger, jedenfalls aber bekannter Geschwindigkeit erfolgt.

Außer den eigentlichen Bewegungen können Veränderungen anderer Art in der gleichen Weise der Untersuchung zugänglich gemacht werden, wenn es gelingt, sie derart zu übertragen, dass eine geradlinige Bewegung entsteht. Setzt man z. B. auf die Flüssigkeit im offenen Schenkel des in Fig. 9 (S. 123) abgebildeten Manometers einen leichten, über das obere Schenkelende hinausragenden Schwimmer, welcher die Schreibspitze trägt, so kann man Schwankungen des Druckes im Gefäß g aufzeichnen lassen. In dieser Weise ist der von Ludwig zuerst in die physiologische Versuchstechnik unter dem Namen Kymographion oder Wellenschreiber eingeführte Apparat eingerichtet, durch welchen die Schwankungen des Blutdrucks graphisch registriert werden. Zahlreiche andere Apparate sind zur Untersuchung der Vorgänge bei der Atmung, dem Kreislauf, der Muskelkontraktion u. s. w. benutzt worden. Ihre Beschreibung gehört in die Darstellung der speziellen Untersuchungen, denen sie dienen.

Erklärung einiger Kunstausdrücke.

Vorbemerkung. Die wissenschaftlichen Kunstausdrücke werden in der Regel aus fremden Sprachen entnommen, weil es dadurch besser gelingt, ihre Verwendung auf die durch Definition ein für allemal festgestellte Bedeutung einzuschränken, während Wörter der eigenen Sprache eher der Gefahr ausgesetzt sind, in wechselnden Bedeutungen gebraucht zu werden. Die griechische Sprache eignet sich dazu wegen der Leichtigkeit, mit welcher in ihr Wortverbindungen zur schärferen Umgrenzung bestimmter Begriffe gebildet werden können. Manche Wortteile kehren häufig wieder. Solche wurden im nachfolgenden Verzeichnis nur einmal aufgeführt und durch einen beigefügten Strich — als Vor- oder Nachwörter für zahlreiche Verbindungen gekennzeichnet. Neben den Zahlwörtern u. a. ist hier das sogenannte *α* privativum hervorzuheben, durch dessen Vorsetzung das nachfolgende Wort eine dem ursprünglichen Begriff gegensätzliche Bedeutung erhält. Es ist im Verzeichnis durch *α* p. gekennzeichnet. Vor Vokalen geht es in *ἀν* über.

Da die griechischen Wörter oft in latinisierter Form gebraucht werden, auch bei vielgebrauchten Wörtern eine Anpassung an deutsche Schreibweise stattgefunden hat, so entstehen Schwankungen in der Orthographie. Man bittet daher insbesondere Wörter, welche unter C fehlen, unter K oder Z zu suchen, und umgekehrt. Lateinische Wörter sind *cursiv* gesetzt.

Abiogenese (*α* p., *βίος* Leben, *γένεσις* Entstehung) Entstehung von Leben aus nichtlebender Substanz, gleichbedeutend mit Archigonie, Urzeugung.

Achromatin (*α* p., *χρῶμα* Farbe), die sich nicht oder schwer färbende Substanz des Zellkerns.

Achroodextrin (*α* p., *χρόα* Farbe, *dexter* rechts) Dextrin, welches durch Jod nicht mehr gefärbt wird.

Aëroben (*ἀήρ* Luft, *βίος* Leben) Lebewesen, welche zur Erhaltung ihres Lebens freien Sauerstoff nötig haben.

Aërotaxis und Aërotropismus (*ἀήρ* Luft) durch die Luft, besonders den in ihr enthaltenen Sauerstoff, bedingte Erscheinungen der Taxis und des Tropismus. S. d.

Aliphatische Reihe (*ἄλειφα*, Salbe, Fett) Reihe der Kohlenstoffverbindungen mit kettenartiger Anordnung der C-atome.

Allotropie (*ἄλλος* ein andrer, *τροπή* Wendung) Verschiedenheit der Formen bei einem und demselben Stoff.

Amitotische Kernteilung (*α* p. und Mitose) s. Mitose und Karyokinese.

Amöben (*ἀμοιβός* wechselnd, veränderlich) Lebewesen, deren Form wechselt; davon amöboid (*εἶδος* Gestalt) d. i. Amöben ähnlich.

Amorph (*α* p., *μορφή* Gestalt) ohne bestimmte Form, nicht krystallinisch.

Amylase (*ἄμυλον* feinstes Mehl, Stärke) = Diastase.

Amylolytische Fermente (*λύσις* Lösung), F., welche Stärke lösen, indem sie dieselbe in Dextrin und Glykosen überführen.

An(a) — (*ἀνά* hinauf).
Anaëroben (*a* p., *ἀήρ*, *βίος*) Lebewesen, welche keines freien Sauerstoffs bedürfen. Vgl. Aëroben.
Analyse (*ἀνάλυσις* Auflösung) Zerlegung in Bestandteile.
Anhydrisierung (*a* p., *ὕδωρ* Wasser) Entziehung von Wasser.
Anion (*ἀνά* hinauf, *ἴον* das wandernde) der Teil eines Elektrolyten, welcher zur Anode (s. d.) wandert und dort ausgeschieden wird.
Anode (*ἀνά* hinauf, *ὁδός* Weg) die Stelle, an welcher ein elektrischer Strom in einen Elektrolyten eintritt, positive Elektrode.
Anthozoën (*ἄνθος* Blüte, *ζῶον* Tier) Blumentiere, Korallentiere.
Anthropomorphismus (*ἄνθρωτος* Mensch, *μορφή* Gestalt) die Auffassung eines Naturvorgangs nach Analogie mit menschlichen Handlungen, die Übertragung von Vorstellungen, zu denen wir durch Vorgänge des Selbstbewusstseins gelangt sind, auf Naturvorgänge.
Archigonie (*ἀρχή* Anfang, *γόνος* Geburt, Abkunft) = Urzeugung.
Arthropoden (*ἄρθρον* Glied, *ποῦς* Fuß) Tiere mit gegliederten Extremitäten.
Askon (*ἀσκός* Schlauch; Askomyceten Schlauchpilze). Erste Grundform des Baus der Spongien. Vgl. S. 357. Davon auch Ascidien.
Atavismus (*atavus* Urgroßvater) = Rückschlag vgl. S. 565.
Atom (*a* p., *τέμνω* ich spalte) was nicht weiter geteilt werden kann.
Automat (*αὐτόματος* sich selbst bewegend) was sich ohne menschliches Zuthun, ohne äußerlich erkennbare Ursache bewegt.

Bacillen (*bacillus* Stäbchen) stäbchenförmige Spaltpilze.
Bakterien (*βακτηρία* Stab) Spaltpilze (entweder Bacillen oder Kokken).
Biogenetisches Grundgesetz (*βίος* Leben, *γένεσις* Entstehung) die Lehre, dass jedes Lebewesen bei seiner Entwicklung die Formenreihe seiner Vorfahren in abgekürzter Weise durchlaufe.
Biologie (*βίος* Leben, *λόγος* Lehre) Wissenschaft vom Leben im allgemeinsten Sinne, umfasst alle Zweige, Morphologie, Physiologie u. s. w.

Cephalopoden (*κεφαλή* Kopf, *ποῦς* Fuß) Kopffüßler.
Centrosom (*κέντρον* Mittelpunkt, *σῶμα* Körper) neben dem Kern gelegenes Körperchen, welches unter Umständen als Mittelpunkt einer Strahlenfigur erscheint.
Chemotropismus und Chemotaxis, durch chemische Reagentien bedingte Erscheinungen des Tropismus und der Taxis. S. d.
Chlorophyll (*χλωρός* grün, *φύλλον* Blatt) der hauptsächlich in den Blättern enthaltene grüne Farbstoff der Pflanzen.
Chloroplasten (*χλωρός* grün, *πλάσσω* ich forme, bilde) die Körper, in welchen das Chlorophyll gebildet wird.
Chromatin (*χρῶμα* Farbe) die stark färbbare Substanz der Kerne.
Coelom (*κοίλωμα* Höhle) die Leibeshöhle. — Coelenteraten (*ἔντερον* Darm) Tiere, bei welchen die Leibeshöhle zugleich Magen-Darmhöhle ist.
Ctenophoren (*κτείς* Kamm, *φόρος* tragend) Rippenquallen, weil die mit den Flimmerplatten besetzten Rippen einem Kamme ähnlich sehen.
Cyste (*κύστις* Blase) mit Flüssigkeit gefüllter Hohlraum.
Cytoplasma (*κύτος* Höhlung, *πλάσμα* das Gebilde) der Zellinhalt, fast gleichbedeutend mit Protoplasma. Vgl. Erythrocyten u. a.

Deka — zehn.
Dendriten (*δένδρον* Baum) baumförmige Verästelungen der Nervenzellen.
Di — (*δίς* doppelt).
Diöcisch (*οἶκος* Haus) zweihäusig, von Pflanzen, deren männliche und weibliche Blüten auf verschiedenen Stämmen wachsen.

Dia — (*δία* durch, hindurch).

Diageotropismus; Diaheliotropismus s. Geotropismus u. s. w.

Dialyse (*λύσις* Lösung) Trennung gelöster kolloider und krystalloider Substanzen mit Benutzung der Eigenschaft, dass letztere leicht, erstere schwer durch Membranen hindurchgehen. Vgl. Osmose und Diosmose.

Diaphragma (*διάφραγμα* Scheidewand) in der Anatomie: das Zwerchfell.

Diastase (*διάστασις* Sonderung, Spaltung) soviel wie amylolytisches Ferment (s. d.), insbesondere das bei der Keimung in den Samenkörnern der Gerste entstehende.

Dikotyledonen (*κοτυληδών* Saugwarze) Pflanzen mit zwei Keimblättern.

Diosmose (*διά* hindurch, *ὠσμός* Stoß) Vorgang, durch welchen Wasser und gelöste krystalloide Stoffe durch Membranen hindurchgetrieben werden.

Dodeka . . . . zwölf.

Ekto — (*ἐκτός* außen).

Ektoderm (*δέρμα* Haut) die äußere Zellschicht bei Lebewesen, welche aus zwei oder drei gesonderten Zelllagen bestehen.

Ektosark (*σάρξ* Fleisch) die äußere, etwas festere, von Körnchen freie Schicht des Protoplasmas einzelliger Lebewesen.

Elektroden (*ἤλεκτρον* Bernstein, *ὁδός* Weg) die Stellen, an denen ein Strom ein- oder austritt. S. d. folg. Wort.

Elektrolyse (*ἤλεκτρον* Bernstein, welcher bekanntlich beim Reiben elektrisch wird, *λύσις* Lösung) die Zerlegung eines zusammengesetzten Körpers (Elektrolyt) durch einen elektrischen Strom.

Endo — (*ἔνδον* innen).

Endoskelett (*σκελετόν* das Trockne, daher auch Knochen) ein von Weichteilen bekleidetes Skelett.

Endosmose (vgl. Diosmose) Diffusion, bei welcher das Eindringen von Flüssigkeit in einen Hohlraum überwiegt. — Endosmometer, Apparat zum Messen der Endosmose.

Endothel (*θηλή* Brustwarze) die zellige Auskleidung geschlossener Hohlräume.

Endothermische Prozesse (*θερμός* warm), Prozesse, bei welchen Wärme verbraucht wird.

Energie (*ἐνέργεια* Wirksamkeit) Fähigkeit zu einer Leistung.

Ento — (*ἐντός* drinnen).

Entoderm (*δέρμα* Haut) die innere Zellschicht bei Lebewesen, welche aus zwei oder drei gesonderten Zelllagen bestehen.

Entosark (*σάρξ* Fleisch) die innere, Körnchen enthaltende Schicht des Protoplasmas.

Enzyme (*ζυμόω* ich bringe in Gärung) Stoffe, welche durch ihre Anwesenheit in andren chemische Umwandlungen hervorrufen.

Epi — (*ἐπί* über).

Epidermis (*δέρμα* Haut) die aus einer oder mehreren Zelllagen bestehende Oberhaut.

Epithel (*θηλή* Brustwarze) aus einer oder mehreren Zelllagen bestehende Bekleidung eines nach außen mündenden Hohlraumes, hauptsächlich der zellige Überzug einer Schleimhaut.

Erythrocyten (*ἐρυθρός* rot, *κύτος* Höhlung) rote Blutkörperchen.

Erythrodextrin durch Jod rot werdendes Dextrin.

Eudiometer (*εὔδιος* still, ruhig, heiter [vom Wetter]) Apparat zur Analyse von Gasgemengen, besonders der Luft, um danach ihre „Güte" zu bestimmen.

Exo — (*ἔξω* außen).

Exoskelett ein den Körper umkleidendes Skelett.

Exosmose der Gegensatz von Endosmose.

Exothermische Prozesse, Prozesse, bei welchen Wärme frei wird.

Farinose (*farina* Mehl) = Stärkecellulose.
Ferment (*fermentum*) s. v. wie Enzym, über den Unterschied s. S. 447.
Fibrin (*fibra* Faser) Faserstoff des Bluts.

Galaktose (*γάλα* Milch) ein dem Traubenzucker ähnlicher Zucker $C_6H_{12}O_6$.
Galvanismus, nach dem Italiener Galvani benannte Erscheinungen der gleichmäßig strömenden Elektrizität, davon:
Galvanotaxis bestimmte Stellung von Lebewesen gegen die Richtung galvanischer Ströme.
Gamet (*γαμέω* ich mache Hochzeit) durch Konjugation mit einem andern Gamet eine Zygospore (s. d.) bildende Fortpflanzungszelle.
Ganglion (*γάγγλιον* Knoten, Anschwellung) insbesondere Anhäufung von Nervenzellen.
—gen (*γένεσις* Entstehung); durch Anhängung dieser Silbe wird ein Stoff bezeichnet, aus welchem der durch das Vorwort bezeichnete entsteht, z. B. Fibrinogen, derjenige Stoff, aus welchem Fibrin entsteht.
Gastrula (Diminutivform von *γαστήρ* Magen) durch Einstülpung bei der Entwicklung des Eis entstehendes, aus zwei Zelllagen bestehendes Gebilde.
Geotaxis und Geotropismus (*γῆ* Erde) durch die Schwere bedingte Erscheinungen der Taxis und des Tropismus. S. d.
Glykogen (*γλυκύς* süß) ein der Stärke ähnlicher Stoff, welcher in Glykose übergehen kann.
Glykose einfacher Zucker von der Zusammensetzung $C_6H_{12}O_6$.

Hämatin (*αἷμα* Blut) Blutfarbstoff, entsteht aus:
Hämoglobin, dem eigentlichen Blutfarbstoff, welcher in Hämatin und Globin oder Globulin zerlegt werden kann (*globus* Kugel, *globulus* Kügelchen).
Heliotaxis und Heliotropismus (*ἥλιος* Sonne) durch (Sonnen-)licht bedingte Erscheinungen der Taxis und des Tropismus. S. d.
Hepta — sieben, davon Heptan.
Hermaphroditismus (*Ἑρμαφρόδιτος,* Sohn des Hermes und der Aphrodite) Vereinigung beider Geschlechter in einem Individuum.
Hex(a) — sechs, davon Hexan u. s. w.
Histiologie oder Histologie (*ἱστίον* Gewebe), die Lehre von dem Bau der Gewebe.
Homoiotherme Tiere (*ὅμοιος* gleich, *θερμός* warm), Tiere, deren Eigentemperatur sich wenig ändert.
Hyalin (*ὑάλινος* gläsern, von Glas), etwas Durchsichtiges, das ein gleichmäßiges Aussehen hat, kein Gefüge zeigt.
Hydrat (*ὕδωρ* Wasser) eine Verbindung mit Wasser.
Hydrolyse (*ὕδωρ* Wasser, *λύσις* Lösung) chemische Zerlegung unter Aufnahme der Elemente des Wassers.
Hydrolytische Spaltung = Hydrolyse.
Hydrotaxis und Hydrotropismus s. Taxis und Tropismus.
Hygrometer (*ὑγρός* feucht, *μέτρον* Maß) Feuchtigkeitsmesser.
Hypertonisch (*ὑπέρ* darüber hinaus); Vgl. hypotonisch.
Hyphen (*ὑφή* Gewebe) Pilzfäden.
Hypotonisch (*ὑπό* darunter, *τόνος* Spannung) heißen Lösungen, welche einen kleineren osmotischen Druck ausüben als andre, mit ihnen verglichene; ist der Druck größer, so nennt man die Lösung hypertonisch.

Ionen, richtiger Ionten (*ἰόν* das wandernde), heißen die Bestandteile, in welche ein Elektrolyt zerfällt; bei der Elektrolyse wandert der eine (das Anion) zur Anode, das andre (Kation) zur Kathode.

Isomerie (*ἴσος* gleich, *μέρος* Teil) Gleichheit der chemischen Zusammensetzung der Molekeln bei Ungleichheit der Konstitution.

Isomorphie (*ἴσος* gleich, *μορφή* Gestalt), gleiche (Krystall)form bei analoger chemischer Zusammensetzung.

Isotonisch (*ἴσος* gleich, *τόνος* Spannung) heißen Lösungen, welche gleichen osmotischen Druck ausüben; vgl. hypertonisch und hypotonisch.

Karyokinese (*κάρυον* Kern, *κίνησις* Bewegung) die mit eigentümlichen Bewegungen, namentlich des Chromatins, einhergehende Kernteilung.

Kathode (*κατά* hinab, *ὁδός* Weg) die Stelle, wo ein elektrischer Strom aus einem Elektrolyten austritt, negative Elektrode.

Kation (*κατά* hinab, *ἴον* wandernd) derjenige Bestandteil eines Elektrolyten, welcher nach der Kathode wandert.

Kinetisch (*κινέω* ich bewege), zur Bewegung gehörig, mit Bewegung verbunden

Kokken (*κόκκος* Kern einer Frucht, Beere) rundliche Spaltpilze.

Kolloide (*colla*, Leim) Stoffe, welche schwer oder gar nicht durch Membranen hindurchdiffundieren.

Kotyledonen (*κοτυληδών* Saugwarze) Keimblätter der Pflanzenembryonen.

Krystalloide (*κρύσταλλος* Eis, Bergkrystall) Stoffe, welche leicht durch Membranen hindurchdiffundieren.

Kymographion (*κῦμα* Welle, *γράφω* ich schreibe) Wellenschreiber, ein zur Aufzeichnung der Blutdruckschwankungen dienender Apparat.

Leukocyten (*λευκός* leuchtend, weiß, *κύτος* Höhlung) weiße, oder farblose Blutkörperchen (z. Unterschied von den roten).

Makro — (*μακρός*, groß, lang).

Manometer (*μανός* dünn, *μέτρον* Maß) Druckmesser, Spannungsmesser.

Mega — und Megalo — (*μέγας* [Stamm: *μεγαλ*] groß).

Mesoderm (*μέσος* mittel, in der Mitte, *δέρμα* Haut) mittlere Zelllage bei Lebewesen, welche aus drei Zellschichten bestehen.

Meta — (*μετά* inmitten, zwischen).

Mikro — (*μικρός* klein); wenn es vor den Namen eines Maßes gesetzt wird, bedeutet es den tausendsten Teil desselben, daher 1 Mikromillimeter oder kürzer 1 Mikron (1 μ) = 0,001 mm.

Mikroben (*μικρός* klein, *βίος* Leben) Kleinlebewesen.

Mitose (*μίτος* Faden) = Karyokinese, weil das Chromatin in Fadenform auftritt.

Molekeln (*moles* Masse, *molecula* kleine Masse); näheres S. 76.

Mono — (*μόνος* allein, in der Einzahl).

Monöcisch (*οἶκος* Haus) einhäusig heißen Pflanzen, deren männliche und weibliche Blüten auf demselben Stamm wachsen.

Morphologie (*μορφή* Gestalt, *λόγος* Lehre) Formenlehre.

Mycelium (*μύκης*, Pilz) ein aus Mycelfäden (Hyphen) gebildetes Pilzgewebe.

Mykorrhiza (*μύκης* Pilz, *ῥίζα* Wurzel), s. S. 424, 446.

Myosin (*μῦς* Maus, Muskel) ein in Muskeln gefundener Proteinstoff. — Myosinogen Stoff, aus welchem das Myosin entsteht.

Myxomyceten (*μύξα* Schleim, *μύκης* Pilz) Schleimpilze.

Nephridien (*νεφρός* Niere) nierenähnliche Organe, s. S. 359, 384.

Neurilemma (*νεῦρον* Nerv, *λέμμα* Rinde, Schale) die äußere Scheide der Nervenfasern.

Neurit (*νεῦρον* Nerv) = Achsencylinderfortsatz einer Nervenzelle.

Neurone (*νεῦρον* Nerv), die Einheiten, aus denen sich das Nervensystem aufbaut.

Non (*nonus* der neunte), davon Nonan.[1])

[1]) Das griechische Zahlwort (*ἐννέα* neun) erschien unbequem; deshalb wurde ausnahmsweise das lateinische benutzt.

Ocellen (*ocellus* Diminutivform von *oculus* Auge) Zellorgane, welche (vermutlich oder nachgewiesenermaßen) gegen Licht empfindlich sind.
Okt — (*ὀκτώ* acht) davon Oktan.
Ontogenie (*ὀντ'* zu dem unregelmäßigen Zeitwort *εἰμί*, ich bin, gehörig, *γενεά* Abkunft) die Entstehungs- oder Entwicklungsgeschichte eines einzelnen Lebewesens (vgl. Phylogenie).
Ortho — (*ὀρθός* gerade stehend, gerade).
Osmose (*ὠσμός* Stoß, Druck) = Diosmose (s. d.). — Osmotischer Druck gelöster Stoffe vgl. S. 141 ff.
Oxy — (*ὀξύς* scharf, sauer); davon Oxygen Sauerstoff, Oxyd u. a.

Para — (*παρά* bei, neben).
Parthenogenesis (*παρθένος* Jungfrau, *γένεσις* Entstehung), Jungfernzeugung, Entwicklung eines unbefruchteten Eis.
Penta — fünf, davon Pentan.
Pepsin (*πέπτω* ich verdaue) proteolytisches Enzym des Magensafts.
Phototaxis und Phototropismus (*φῶς* Licht) dasselbe wie Heliotaxis und Heliotropismus.
Plasma (*πλάσμα* das Geformte) die Grundlage, insbesondere die Blut oder sonstige Flüssigkeit, in welche die andren Bestandteile eingelagert sind.
Phylogenie (*φῦλον* Stamm, *γενεά* Geschlecht, Abkunft), die Lehre von der Abstammung der Lebewesen voneinander, Stammesgeschichte.
Physiologie (*φύσις* Natur, *λόγος* Lehre) hat jetzt die engere Bedeutung der Lehre von den Lebenserscheinungen.
Plasmolyse (*πλάσμα* das Geformte, *λύσις* Lösung) die Veränderung des Protoplasmas durch die Einwirkung hypertonischer Lösungen.
Poikilotherme Tiere (*ποικίλος* bunt, verschieden, *θερμός* warm) Tiere, deren Eigentemperatur sehr schwanken kann.
Poly — (*πολύς* viel).
Proteolytisch, was Proteine löst oder zerlegt; vgl. Proteine.
Protisten (*πρότος* der erste) die einfachsten (und vielleicht auch ursprünglichsten) Lebewesen.
Protophyten und Protozoën (*πρότος* der erste, *φυτόν* Pflanze, *ζῶον* Tier die einfachsten Pflanzen und Tiere.
Proteine (*πρότος* der erste) diejenigen Stoffe, unter den Bestandteilen der Lebewesen, welche man für die wichtigsten hält.
Protoplasma (*πρότος* der erste, *πλάσμα* das Geformte) die Grundsubstanz der Zellen.
Pseudopodien (*ψεῦδος* Täuschung, *πούς* Fuß) Scheinfüße.
Psychologie (*ψυχή* Seele, *λόγος* Lehre) Lehre von den Seelenerscheinungen.
Pyämie (*πῦον* Eiter, *αἷμα* Blut) Krankheit, welche durch Eintritt von Eiter ins Blut entsteht.
Pyrenoid (*πυρήν* Kern) kleine, in das Chlorophyll eingelagerte, von Stärke umgebene Körnchen von Proteinen.
Pyrosomen (*πῦρ* Feuer, *σῶμα* Körper) Feuerwalzen, eine Ordnung der Ascidien.

Rheotropismus (*ῥέω* ich fließe) vgl. Tropismus; s. a. S. 449.
Rhizoid (*ῥίζα* Wurzel, *εἶδος* Gestalt) was einer Wurzel ähnlich ist.
Rhizom (*ῥίζα* Wurzel) unterirdischer Stengel.

Saccharomyces (*σάκχαρον* Zucker, *μύκης* Pilz) Sprosspilze, welche alkoholische Gärung in Zuckerlösungen erregen.
Saprophyten (*σαπρός* faulig, *φυτόν* Pflanze) niedere Organismen, welche auf fauligen Stoffen leben.

Sarkolemma (*σάρξ* Fleisch, *λέμμα* Rinde) Scheide der Muskelfasern.
Schizo — (*σχίζω* ich spalte) davon: Schizomyceten, Schizophyten etc.
Septichaemie (*σηπτικός* faulig, *αἷμα* Blut) faulige Zersetzung des Bluts.
Siphonophoren (*σίφων* Weinschlauch, Blase, Röhre, *φόρος* tragend) eine Ordnung der Hydromedusen.
Sperma (*σπέρμα* Same) davon Spermium oder Spermatozoon, der (meist bewegliche) Samenfaden.
Sporen (*σπορά* die Saat, der Sprössling) abgetrennte, zur Vermehrung dienende Zellen. — Sporangium (*ἀγγεῖον* Gefäß) = Sporenbehälter.
Steapsin (*στέαρ* Talg) fettspaltendes Ferment.
Stereo — (*στερεός* fest); davon Stereoisomerie, Stereotaxis, Stereotropismus.
Sycon (*σῦκον* Feige) zweite Grundform des Baus der Spongien. Vgl. S. 357.
Sym — oder Syn — (*σύν* mit, zusammen).
Symbiose das Zusammenleben zweier Lebewesen.
Syncytium (*σύν* mit, *κύτος* Höhlung, Zelle) durch Verschmelzung von Zellen oder durch wiederholte Kernteilung ohne Zelltrennung entstandenes Gebilde.

Taxis (*τάξις* Ordnung, Stellung) durch Reize bewirkte Stellung, s. Geotaxis etc.
Tetanus (*τείνω* ich spanne) dauernde Zusammenziehung eines Muskels.
Tetra — vier, davon Tetrachlorkohlenstoff u. a.
Thermo — (*θερμός* warm); davon Thermometer, Thermotropismus u. a.
Tri — drei, davon Triolein u. a.
Tropismus (*τροπή* Wendung) durch Reize bewirkte Krümmung; s. Geotropismus etc.

Xantho — (*ξανθός* gelb); davon Xanthophyll, der gelbe Blattfarbstoff (vgl. Chlorophyll) u. a.
Xylose (*ξύλον* Holz) Holzzucker.

Zoologie (*ζῶον* Tier, *λόγος* Lehre) Lehre vom Tierreich.
Zoospore (*ζῶον* Tier, *σπορά* Saat) tierische Spore.
Zygospore (*ζυγόν* Joch, *σπορά* Saat) Spore, welche durch Konjugation zweier Gameten entstanden ist.
Zymotisch vgl. Enzyme.

Register.

A.

Abänderung 571.
Abänderungsspielraum 584.
Abdomen 263.
Aberglauben 47.
Abiogenese 554.
Abkühlungsgesetz 60.
Ablesungsfehler 55.
aboral 263.
Abscisse 580.
Absolutes Maßsystem 54, 95.
Absolute Temperaturskala 121.
Absonderung 284, 345.
Absorption 136.
Abstammung 564.
Acetylen 218.
Achromatin 296.
Achroodextrin 240.
Achsencylinder 505.
Achsencylinderfortsatz 507.
Acidalbumine 254.
Actinosphaerium Eichhornii 472.
Adenin 257.
Adventivknospen 524, 526, 530.
Äpfelsäure 499.
Aequivalenz 104, 108.
Aëroben 360.
Aërotaxis 499.
Aërotropismus 498.
Aethalium septicum 339, 498.
Aethan 200, 202.
Äther 36, 40, 43, 87, 90.
Ätherbewegung 90.
Aethyl 200.
Aethylaldehyd 206.
Aethylalkohol 203, 205.
Aethyläther 73, 185, 216.
Aethylbenzol 221.
Aethylen 218.
Aethyljodid 202.
After 268, 331, 355.
Agaricus melleus 485.
Agaricus olearius 485.
Agar-Agar 418.
Aggregatzustände 75, 145, 296.
Akazie 562.
Akrolein 244.
Albuminate 252, 254.
Albumine 251, 252.
Albuminoide 258.
Albumosen 251, 253, 254.
Alca impennis 558.
Aldehyde 205.
Aldehydgruppe 206.
Aldosen 231.
Algen 311, 401, 412, 426, 532, 535.
Aliphatische Reihe 219.
Alizarin 223.
Alkalialbuminate 254.
Alkalien 498.
Alkalische Reaktion 195.
Alkaloide 228. 403.
Alkohol 73, 498.
Alkoholäther 216.
Alkoholate 205, 215.
Alkohole 203; mehrwertige 205.
Alkoholische Gärung 233.
Alkoholanhydride 216.
Alkoholische Getränke 233.
Alkyläther 216.
Allotropie 148.
Aloin 403.
Aluminium 114, 180, 389.
Alveoläre Drüsen 347.
Alveolen 283, 367.
Ameisensäure 206.
Ambulakralfüßchen 476.
Amide 402.
Amidobenzol 225.
Amidocapronsäure 225.
Amidoessigsäure 225.
Amidopropionsäure 225.
Amidoverbindungen 224.
Amitotische Zellteilung 545.
Amin — s. Amid.
Aminbasen 250.

Ammocoetes branchalis 25.
Ammoniak 82, 176, 182, 197, 224.
Ammonium 224, 498.
Ammoniumacetat 224.
Ammoniumchlorid 150, 189, 224.
Ammoniumhydroxyd 224.
Amoeba proteus 295.
Amoeba polypodia 295.
Amoeben 295 ff., 471, 500, 532.
Amoeboide Bewegung 299.
Amorph 4.
Amorphe Körper 148.
Amphibien 312, 371, 376, 380, 529, 546, 566.
Amphioxus lanceolatus 340.
Amylase 451.
Amylodextrin 241.
Amyloid 242.
Amylolytische Enzyme 240, 242, 449.
Anabas scandens 370.
Anaëroben 360, 418, 419.
Analyse, qualitative und quantitative 182, 217.
Anatomie 5, vergleichende 6, 574.
Anhydride 216.
Anhydrisierung 216, 253.
Anilin 225.
Anion 191.
Anlage 549.
Anlagerung 302, 525.
Annahmen s. Hypothesen.
Anneliden 533.
Anode 77, 191, 500.
Anordnung 113; s. a. Struktur.
Anordnung der Atome innerhalb der Molekel 201.
Anpassung 575.
Anthozoen 358.
Anthracen 223.
Anthropologie 5.
Anthropomorphismus 32.
Anus 268.
Anziehung 71.
Aorta 275, 378, 380.
Aorta abdominalis 265, 268, 380.
Aphiden 546.
Apparate 62.
Aprioristische Wahrheiten 23, 38, 42.
Aquarien 411.
Arabinose 236.
Arbeit 94, 96, 101, 105, 435, Umwandlung in Wärme 102, 438.
Arbeitseinheit 95.
Arbeiter und Arbeiterinnen 349, 546.
Arbeitsleistung 438ff., 444, d. Muskeln 479.
Arbeitsmaschinen 445.
Arbeitsteilung 316, 317, 348.
Arbeitsverbrauch 444.
Archaeopteryx lithographica 573.
Archigonie 554.
Argon 82, 190.
Aristoteles 46, 52, 553.
Aromatische Verbindungen 220.
Artemia salina 165; *Milhausenii* 165.
Arten oder Spezies 549 ff., 559 ff., 563.
Arterien 275, 278, 377 ff.
Arteria pulmocutanea 380.
Arteria pulmonalis 275.
Arthropoden 271, 310, 546.
Arum cardifolium 465.
Arum maculatum 465.
Asche 182, 305, 390.
Ascidien 369.
Ascomyceten 214.
Ascon 357.
Asparagin 226, 402, 498.
Asparaginsäure 226.
Assimilation 302, 454ff., 523, 549, 552, 553.
Assoziation 20.
Astrognosie 5.
Astronomie 43.
Asymmetrie des Kohlenstoffs 211.
Atavismus 565, 566.
Atembewegungen 283, 289, 367.
Atemhöhle 398.
Atmosphäre, ihr Druck 115, 123, 124.
Atmosphärische Luft 82, 115, 127.
Atmung 283, 302, 360 ff., der Pflanzen 363, äußere und innere 375.
Atmungsorgane 283, 365 ff.
Atom 28, 79, 90, 313.
Atombewegung 90.
Atomgewicht 84, 177, 180.
Atomgruppen 199.
Atrien 378.
Atropin 228.
Aufnahmeorgane 513.
Aufsaugung 273.
Aufwendung von Energie 96.
Augenleuchten 485.
Augen 520.
Ausatmung 283, 367.
Ausscheidung von Stoffen 382.
Außerirdischer Ursprung der Lebewesen 552.
Ausfällen 152.
Ausführungsgang 272, 284, 347.

Auslese 568.
Auslösung 110, 491 ff.
Aussalzen 152.
Ausscheidungsmembran 297, 327.
Aussonderung 285, 345.
Austausch von Stoffen s. Substitution.
Austern 240.
Außenwelt 1, 2; Realität derselben 3, 67.
Automaten 293; automatische Bewegung 521.
Avogadro's Hypothese 129, 176, 400.
Axiome, 23, 38, 41.

B.

Bacillus butyricus 284.
Bacillus acidi lactici 234, 237.
Bacillus acidi laevolactici 215.
Bacillus radicicola 420, 424.
Bacon v. Verulam 46.
Bacterium aceti 425.
Bacterium lactis 234.
Bacterium phosphorescens 485.
Bacterium photometricum 361.
Bäckerschabe 499.
Bakterien siehe Spaltpilze.
Bakteriopurpurin 393.
Bakteroiden 421.
Barometer 124.
Bärtierchen 310.
Baryum 298.
Basen 195.
Basische Reaktion 195.
Bastarde 549, 564, 565.
Bau s. Struktur.
Bauchaorta 265, 268.
Baucheingeweide 288.
Bauchfell 271.
Bauchhöhle 264.
Becken 270.
Bedingungen einer Erscheinung. 51.
Befruchtung 539. 542, 548, 565.
Begattung 539, 540, 566.
Beggiatoa 361.
Begonien 527.
Begriffe 21.
Le Bel 211, 233.
Benzaldehyd 222.
Benzoësäure 225.
Benzol 220, 227.
Benzolderivate 220.
Benzolring 219, zusammengesetzte 223.
Benzoltheorie 220.
Beobachtung 47.
Beobachtungsfehler 55.
Bergmann 12.
Bernard (Claude) 240.
Bernsteinsäure 208, 226.
Berzelius 210.
Beschleunigte Geschwindigkeit 91.
Beta vulgaris 236.
Bewegung 7, 90; bei Organismen 271, 287, 289, 298 469 ff.; fortschreitende 91.; der Molekeln eines Gases 122; automatische 521; s. a. Schwingungen.
Bewegungsnerven s. motorische Nerven.
Beweise 61.
Bewusstsein, 2, 3, 15, 92, 289, 509, 512.
Biber 558.
Bienen 349, 372, 465, 546.
Bierbereitung 237, 450, 465.
Bildungswärme 435.
Bindesubstanz 343.
Bittermandelöl 222.
Biogenetisches Grundgesetz 575.
Biologie 8.
Biologische Einheit 320.
du Bois-Reymond 441, 484.
Birgus latro 371.
Bison americanus 558.
Blastula 341.
Blattfarbstoffe 393.
Blattläuse 546.
Blei 305.
Blendlinge s. Bastarde.
Blut 113, 192, 256, 274, 279, 376.
Bluten der Pflanzen 398.
Blutkörperchen, rote 164, 252, 279.
„ weiße 279, 299, 318, 319, 499.
Blutplasma 279.
Blutsinus 337.
Blutvergiftung 426.
Botanik 4.
Boyle's Gesetz 116, 135, 189.
Branchipus stagnalis 165.
Brennessel 345.
Brennhaar 345.
Brogniart 465.
Bokorny 448.
Brom 180, 190, 196, 198, 305.
Brown 328, 470.
Brown'sche Bewegung 470, 489.
Brücke 322.
Brustbein 264, 268.
Brustdrüse 268.
Brusthöhle 264.
Brustkorb 268.
Brutbeutel von *Echidna* 25.

Brutzwiebeln 533.
Buchner, E. 449.
Büffel 558.
Bulbus cordis 380.
Butan 200, 202.
Butter 244, 248.
Buttersäure 206, 234, 246, 248.
Buttersäuregärung 234.
Butylalkohol 203.

C.

Calcium 180, 198, 305, 389.
Calciumkarbonat 208.
Calciumsulfat 150.
Caldwell 25.
Callus 526.
Calorie 103, 435.
Calorimeter 435.
Campanularia Johnstonii 350, 548.
Canis 560.
Caprinsäure 207.
Capronsäure 207, 246.
Caprylsäure 207, 246.
Caramel 236.
Carbamid 226.
Carbaminsäure 226.
Carboxylgruppe 207.
Carica papaya 452.
Carchesium polypinum 334.
Carotin 392.
Carotis 380.
Carpus 270.
Castor fiber 558.
Caulerpa prolifera 325, 471.
Cavum cranii 267.
Cellulose 241.
Celsius'sche Temperaturskala 119.
Centimeter 54.
Centralnervensystem 267, 287, 288, 504.
Centrifugal und centripetalleitende Nerven 510.
Centrosphären 328.
Centrosoma 328, 545.
Cephalopoden 520.
Cerebrin 235.
Cerebrum 267.
Cerotinsäure 246.
Cetylalkohol 546.
Chamaeleo monachus 367.
Characeen 471.
Chara crinita 546.
Chara fragilis 391.
Charaktere oder charakteristische Eigenschaften 4; der Arten 549, 563.
Chelidonium 245.
Chemie 8, 78.; physiologische 15.
Chemische Verbindungen 113.
Chemische Vorgänge 76, 104, 113.
„ „ im Muskel 480.
Chemische Wirkungen durch Mikroben 418 ff.
Chemotaxis 498.
Chemotropismus 498.
Chinin 150, 228, 403.
Chinolin 227.
Chitin 242, 260.
Chlor 106, 176, 180, 189, 198, 305.
Chlorkohlenstoff 197.
Chlornatrium s. Natriumchlorid.
Chloroform 129.
Chlorophyll 238, 392, 396, 486, 535.
Chlorophyllfreie Pflanzen 415 ff, 423, 446.
Chlorophyllkörper 392, 450, 535.
Chloroplasten 450.
Chlorsilber 106.
Chlorwasserstoff 106.
Cholalsäure 225.
Choleravibrio 215.
Cholesterin 118, 246.
Chondrioderma difforme 338, 339.
Chromatin 296, 544.
Chromatinschleifen 545.
Chromatinsubstanz 548.
Chun 485, 486.
Chylusgefässe 281.
Citronensäure 209.
Clavellina lepadiformis 369.
Clavicula 270.
Cnidarien 330, 346, 357.
Cobitis fossilis 374.
Codein 228.
Coelenteraten 356, 540.
Coelom 271.
Cohn, Ferdinand 416.
Colocasia odora 465.
Columella 535.
Conchae 267.
Cor 265.
Costae 265.
Cranium 267.
Cremor tartari 210.
Crenothrix 361.
Crustaceen 485.
Crustaceen 181, 306, 485, 529, 547.
Ctenophoren 478, 503.
Cumarin 228.
Cuscuta europaea 427.

Cuticula 330, 335, 342, 355, 371.
Cyste 308.
Cytoplasma 160, 328.

D.

Dalton's Gesetz 121, 137.
Dampfdichte 181.
Dämpfe 74, 75, 133.
Dampfmaschine 104, 105, 293, 439, 480.
Dampftension 134.
Daphniden 546.
Darm 265, 268, 374, 384.
Darmbein 270.
Darwin 568 ff.
Dauersporen 532, 555.
Deduktion 37, 41, 44.
Deduktive Wissenschaften 39, 41.
Definitionen 21, 41.
Defoe 562.
Degeneration durchschnittener Nerven 507.
Demonstrationsversuche 49.
Denaturierte Eiweißkörper 252.
Dendriten der Nervenzellen 506.
Descendenzlehre 572.
Desmidiaceen 473, 497.
Dextrin 154, 240, 241, 273, 450.
Dextrose 231.
Diageotropismus 496.
Diagnose einer Art 50, 559.
Diaheliotropismus 497.
Dialysator 159.
Dialyse 159.
Diamant 148, 179.
Diaphragma 268.
Diastase 451.
Diaster 545.
Diatomeen 471, 497, 531, 565.
Dichlormethan 199.
Dichte 56, 85.
„ der Gase 175.
Dickdarm 265, 273.
Differente Stoffe 113.
Differenzierung 317, 325, 353, 517, 526; geschlechtliche 534.
Difflugia pyriformis 305.
Diffusibilität 159.
Diffusion der Flüssigkeiten 139.
„ der Gase 125, 130.
„ der Kolloide 158.
„ durch Scheidewände 141.
Dikotyledonen 388.
Dimensionen 92.
Dimethylamin 225.
Dimethylbenzol 221.
Dimethylketon 206.
Dinge 3.
Diöcische Pflanzen 537, 541.
Dionaea muscipola 346, 500, 503.
Diosmose 141.
Dioxybernsteinsäure 209, 211.
Dipnoer 371.
Disaccharosen 449.
Dissoziation 189, 190, 192.
Distal 263.
Dolium galea 208.
Doppelbrechung des Lichts in Glas 72.
„ „ „ in Leim 147.
„ „ „ in Krystallen 147.
„ „ „ im Muskel 477, 478.
Doppelsinnige Leitung 510.
Dorsal 263.
Drehung der Polarisationsebene 210, 213.
Driesch 497.
Drohnen 349, 546.
Drosera rotundifolia 346, 500.
Druck 68, 115.
„ der Atmosphäre 123, 124.
„ der Gase 115, 123.
„ der Luft 40, 68, 123.
„ osmotischer 143.
Drucksinn 493.
Drüsen 272, 284, 344 ff., 384, 449, 452, 469, 490.
Drüsengrund 284.
Drüsenzellen s. Drüsen.
Dumas 251.
Dünger 414, 466.
Dünndarm 265.
Dutrochet 465.
Dynamomaschine 460.

E.

Echidna 25.
Echinodermen 475, 566.
Edelauge 527.
Edelreis 527.
Ei 290, 317, 539, 543, 548.
Eiche 561.
Eidechse 530, 558.
Eidotter 245.
Eierstock 540.
Eigenschaften der Naturobjekte 1, 4, 49, 68.

Eigenschaften der Atome 80.
„ der Stoffe 113.
Eigentemperatur 466.
Eikern 544, 548.
Einatmung 283.
Einfache Stoffe 78.
Eingeweide 264, 265.
Einhäusige Pflanzen 537, 541.
Einlagerung 302.
Einschlüsse 296, 298, 301.
Eintagsfliege 373.
Einteilung 1, 4; systematische 4; der Lebewesen 13, 318, 423, 559.
Eintrocknen 309.
Einzeller 318, 354, 523, 528.
Einzelurteil 19.
Eisen 76, 179, 180, 198, 305, 389.
Eisenbakterien 361, 419.
Eisensulfid 77, 179.
Eiweiß 434.
Eiweißkörper 153, 158, 250.
Eizelle s. Ei.
Ektoderm 341, 355, 504, 529.
Ektosark 296.
Elainsäure s. Ölsäure.
Elastine 258, 259.
Elastische Flüssigkeiten (Gase) 132.
Elastizität 100.
„ der Gase 131.
Elektrische Eigenschaften der Atome und Atomgruppen 196.
Elektrische Strömung 107.
„ „ in Lebewesen 483f.;
„ Verhalten bei der Erregung 503.
Elektrizität 34, 41, 50.
Elektrizitätslehre 48.
Elektrolyte 107, 191.
Elementaranalyse 183.
Elementarorganismus 322.
Elemente 78, 170, 180.
Elnbogenbein 270.
Elodea canadensis 391, 562.
Elongation 98, 586.
Embryo 388, 450, 541, 544, 547; Zellen mit embryonalem Charakter 524, 526, 532.
Emissionstheorie 40.
Empfindungen 1, 15, 493, 509, 512.
Empirische Formeln 201.
Empirische Gesetze 29, 60.
Emulsion 245, 273, 452.
Encystierung 308, 327, 532, 555.
Endbäumchen der Nervenfaser 506.
Endknospen 524.
Endoskelett 271.
Endosmometer 141, 158.
Endosmose 159.
Endothel 342, 343.
Endothermische Prozesse 442ff., 465.
Energie des Äthers 106; der Bewegung oder kinetische 93, 97, 282; der Lage oder potentielle 97, 101; der Molekeln eines Gases 122, 128; der Sonne 457ff.; nutzbare 108; -Umwandlung 95, 104, 435ff., 491 ff.
Energieformen, Übersicht 109.
Engelmann 300.
Entoderm 341, 355, 529.
Entosark 296.
Entstehung neuer Arten 566ff.
Entwicklung 6, 290, 316, 317.
Entwicklungsgeschichte 317, 526, 546, 549, 573, 574.
Enzyme 218, 237, 240, 242, 247, 345, 448ff.
Ephemera vulgata 373.
Epidermis 341, 342.
Epigenesis 549.
Epistylis umbellaria 537.
Epithel 343, 528.
Epithelmuskelzelle 335.
Equiden 574.
Erdbeere, Ranken der 533.
Erfahrung 3, 46, 47.
Erhaltung der Arten 308.
„ der Energie 96, 109, 461.
„ der Materie 82, 409.
Erholung 480.
Erigeron canadense 562.
Erklären 28, 31, 33.
Ermüdung 480, 494.
Ermüdende Stoffe 480.
Ernährung 271, 301, 387.
„ der Pflanzen 388.
„ der Tiere 403.
Ernährungsschlauch 271, 379.
Erodium gruinum 166.
Erregbarkeit 492.
Erscheinungen 1.
Erschöpfung 494.
Erstickung 284, 411.
Erwartung 22.
Erythrocyten s. Blutkörperchen.
Erythrodextrin 241.
Esel 564.
Essigäther 216.
Essigsäure 186, 206, 260.

Essigsäureanhydrid 216.
Ester 216, 245.
Etiolieren 396.
Eudiometer 172, 391.
Euglena viridis 496, 497, 519.
Euphausia 486.
Euphorbia 245.
Evolution 549.
Exakte Wissenschaften 36.
Exkrete 285, 345.
Exoskelett 271.
Exosmose 159.
Exothermische Prozesse 442 ff., 453, 465.
Experiment 49.
Experimentum crucis 49.
Exspiration 288.
Explosion 78, 94, 106, 172, 491.
Extremitäten 268.

F.

Fadenziehen 153.
Fakire 309.
Fakultative Parasiten 426.
Fallgesetze 34, 53, 57, 70.
Farbenempfindung 516.
Farinose 239.
Farne 499, 548.
Faserknorpel 343.
Faserstruktur leitender Organe 502.
Fäulnis 249, 422, 554.
Fäulniserreger 425.
Federbüchse 100.
Federwage 69.
Fehling 232.
Fehler 55; konstante 56; wahrscheinliche 56; relative Grösse 119.
Feldspath 114.
Femur 270.
Fermente 253, 254, 255, 345, 448 ff.
Feste Körper 75, 145.
Fette 114, 207, 217, 229, 243, 278, 278, 288, 382, 385, 407, 434, 436, 449.
Fettemulsion 244.
Fettreihe 219.
Fettsäuren 207, 209, 217, 245, 250, 449.
Fettspaltende Enzyme 449, 452.
Feuchte Kammer 298, 302.
Feuerzeug, pneumatisches 102.
Fibrillen 477; des Axencylinders 508.
Fibrin 253, 254;
Fibrinogen 252, 253.
Fibroin 260.
Finger 270.
Fische 311, 371, 375, 381, 519, 566.
Fischembryonen 500.
Fischer, E. 230, 231, 232.
Flaschenförmige Drüsen 347.
Flechten 413, 426.
Fleischextrakt 499.
Fleischfresser 407, 569.
Fleischmilchsäure 211, 481.
Flimmerhaare 332.
Fliegen und ihre Larven 499.
Flöhe 553.
Fluor 180, 196, 198, 305.
Fluorescenz 393.
Flüssigkeiten 75, 132 ff.
Flüssigkeitsmanometer 124.
Folgerichtigkeit der Erscheinungen 23.
Formaldehyd 205.
Formative Reize 525.
Formeln, chemische 184, 201.
Fortpflanzung 307, 523, 530; geschlechtliche 532, 534, 539, 541 ff.
Fourcroy 226.
Franklin 50, 467.
Fraunhofer'sche Linien 256, 394.
Fraxinus ornus 235.
Freie Gasdiffusion 125.
Fressen 301.
Frösche 288, 289, 311, 367, 380, 465.
Froschlarve 6.
Fruchtzucker 234.
Fructose 234, 237.
Früchte 231, 235.
Fuchs 560.
Fühler s. Tentakeln.
Fuligo varians 339, 498.
Fumarolen von Casamicciola 311.
Funktion (physiologisch) 293.
Funktionsverhältnis 57, 578.
Funktionswechsel 375.
Furchung 340.
Furchungskern 548.
Furchungshöhle 341.
Furchungskugel 340.
Fußwurzel 270.

G.

Galaktose 233, 235.
Galilei 30, 34, 40, 46, 47, 51.
Gallen 498, 526.
Gallenblase 268.
Gallerte 155.
Galvanometer 433.
Galvanotaxis 500.
Gameten 535, 543.
Ganglion 504.

Gärung 233.
Gärungserreger 425.
Gärungsmilchsäure 209.
Gas 74, 75, 114, 170; spezifisches Gewicht 175; Verhalten gegen Druck 115; Temperatur 117.
Gasdiffusion, freie 125; durch poröse Scheidewände 130; durch nasse Scheidewände 138.
Gasdruck 123.
Gastrovaskularsystem 358, 374.
Gastrula 341, 355, 575.
Gaumenscheidewand 267.
Gasvolum, Reduktion auf 0° und 760 mm hg 121.
Gay-Lussac's Gesetz 121, 189.
Gedächtnis 3.
Gefäße 342.
Gefrierpunkt 150, 188.
Gehirn 26, 67, 505, 512 ff.
Gehirnzucker 235.
Geisteswissenschaften 44.
Geißel 331.
Geißelinfusorien 500.
Geißelkammern 357.
Gekröse 265.
Gelatine 155, 167.
„ , für Nährböden 417.
Gelatinieren von Leimlösungen 155, 259.
Gelenke 271.
Gemenge 76, 113.
Generatio aequivoca s. spontanea 554.
Generationswechsel 351, 547.
Generelle Gesetze 35.
Genuine Eiweißkörper 252.
Genus 560.
Geographie 5.
Geometrie 41.
Geotaxis 496.
Geotropismus 496.
Geräusche 93.
Gerbsäure 169.
Gerinnung 156, 253.
Gerinnungsfermente 253.
Geruchsorgan 267.
Geruchssinn 499.
Gesättigte Verbindungen 198, 218.
Geschichte 6; der Lebewelt 573.
Geschlecht 348, 539.
Geschlechtliche Fortpflanzung 534, 541.
Geschlechtscharaktere, sekundäre 349.
Geschlechtsorgane 348, 539.
Geschlechtsprodukte 534, 539.
Geschlechtsunterschiede 536, 539.
Geschwindigkeit 91, 96; der Leitung in Muskeln und Nerven 503.
Geschwülste 526.
Gesetze 29, 35; empirische 29, 60; rationelle 61.
Gesetzmäßigkeit der Erscheinungen 23.
Gesteine 4.
Geschwülste 527.
Gewebe 114, 263, 290, 317, 337, 341, 382.
Gewehr 94, 100, 101, 112.
Gewicht 54, 69, 70, 82.
„ , spezifisches 85, 175.
Gewichtsverhältnisse, feste, bei chemischen Verbindungen 80, 175, 179.
Gewitter, 34, 50.
Gifte 307.
Glas 71.
Gleichförmige Geschwindigkeit 91.
Gleichgewicht, dynamisches 441.
Gleichheit 42.
Gliedertiere 271.
Gliedmaßen 262.
Glimmer 114.
Globin 252, 257.
Globuline 251, 252.
Gloeocopsa polydermatica 315.
Glutaminräure 226.
Glutin 259.
Glutosen 260.
Glykocholsäure 225.
Glykogen 240, 273, 407.
Glykokoll 225, 250, 259, 260.
Glykoproteide 255.
Glykosamin 260.
Glykose 230, 231, 237, 361.
Glykoside 231.
Glyzerin 205, 217, 245, 449.
Glyzin 225.
Goethe 568.
Gramm 54, 69.
Grammmolekel 149 ff., 179, 187, 435.
Granit 114.
Granulose 239.
Graphische Darstellung 578 ff.
„ Interpolation 583.
„ Untersuchungsmethode 586.
Graphit 148.
Gräser 389.
Gravitationsgesetz 29, 43, 71.
Gravitationskonstante 79.
Größen 42, 54; konstante u. variable 57, 578.

Großhirn 514.
Grubengas 115, 131, 197; s. a. Methan.
Grund 31.
Grundgesetze 35, 36, 82, 109.
Grundmaße 54.
Gründüngung 421.
Grüne Pflanzen 388 ff., 456 ff.
Gruppen von Objekten 4.
Guajacol 228.
Guanin 257.
Gummiarten 154, 236, 243.

H.

Haacke 25.
Haare 262.
Haarröhrchen 276, 378.
Haeckel 323, 575.
Halbdurchlässige Membranen 142, 158, 163.
Halbflüssiger Aggregatzustand 156, 296.
Haller, Albrecht v. 12.
Hallucinationen 516.
Halogene 196.
Hämatin 252, 257.
Hämoglobin 164, 192, 252, 256, 257, 281.
Handwurzel 270.
Hängender Tropfen 298.
Haptogenmembran 297.
Harn 113.
Harnblase 265, 268.
Harnleiter 265.
Harnsäure 227, 420.
Harnstoff 226, 282, 285, 383, 385, 420. 437.
Harvey 278, 553.
Hauptkern s. Kern.
Haustorien 427.
Haut 262, 374, 384, 466.
Hefe s. Saccharomyces.
Heliosphaera 472.
Heliotropin 223.
Heliotropismus 497.
Heliozoen 472.
Helium 82, 190.
Helmholtz 485, 503, 554.
Henry's Gesetz 136.
Hensen 240.
Hepar 265, 268.
Heptosen 230.
Hermann 500.
Hermaphroditismus 540.
Herz 265, 268, 273, 288, 330, 376, 378, 380, 381, 502.
Herzbewegung 289.
Heteromita 535, 541.
Hexan 200.
Hexobiosen 231, 236.
Hexotriosen 230.
Hexosen 230.
Hilfswissenschaften 8.
Hippursäure 225, 420.
Hirnrinde 513, 521.
Hoden 540.
van't Hoff 211, 233.
Hohlvene 277.
Holothurien 368, 475.
Holz, Wärmeleitung im 146.
Homo sapiens 560.
Homogene Körper 146, nicht homogene 147.
Homoiotherme Tiere 34, 282, 311, 376 ff., 466.
Honig 231, 235.
Hooke 327.
Hoppe-Seyler 311.
Hormifera plumosa 473.
Horror vacui 40.
Hubert 465.
Hubhöhe 479.
Hüftbein 270.
Humerus 270.
Huminsubstanzen 422.
Hummer (Kreislauf) 377.
Humus 422.
Humusbewohner 424.
Hund 560.
Huxley 441.
Huyghens 40, 47.
Hyaliner Knorpel 343.
Hydra viridis 497; *fusca* 528, 531, 540.
Hydrat 150.
Hydratation 255.
Hydratwasser 150, 255.
Hydrolyse 217, 241, 255, 401, 451, 452.
Hydrolytische Spaltung s. Hydrolyse.
Hydrotropismus 498.
Hydrotaxis 499.
Hydromedusen 350.
Hydroxyd 193, 197.
Hydroxyl 202.
Hygrometer 166.
Hypertonisch 164.
Hyphen 535.
Hypothesen 27, 35, 38, 45, 53, 560, 576.
Hypotonisch 164.
Hypoxanthin 257.

I. J.

Ich 2, 67.
Illusionen 516.
Imago 547.
Imbibition 157.
Imidoverbindungen 224.
Imponderabilien 87, 103.
Inaktive Traubensäure 211.
Indikator für Grubengas 131.
Individuum 293, 313, 317.
Indol 250.
Induktionsschluss 23, 38, 41, 44.
Induktive Wissenschaften 41.
Infusorien 309, 426, 500, 553, 554.
Insekten 242, 312, 464, 477, 500, 529, 539, 541, 543, 546, 566.
Insektenfressende Pflanzen 424.
Inspiration 283.
Instrumente 55.
Intensität des elektrischen Stroms 108.
Interpolation 61, 583.
Interzellularlücken 167, 342, 397.
Interzellularsubstanz 338.
Intestinum 265.
Intrazelluläre Atmung 262.
Intrazelluläre Verdauung 344.
Intussusception 302, 525.
Inversion 237.
Invertin 237, 452.
Invertzucker 237.
Inzucht 543.
Ipecacuanha 527.
Isolirte Leitung in Muskeln und Nerven 502.
Isomerie 204, 211, 213, 222.
Isomorphie 48.
Isopropylalkohol 204.
Isotonisch 164.
Jod 180, 189, 190, 196, 198, 202, 240, 305, 389.
Jodstärke 240.
Jolly 70.
Jonen (oder Jonten) 191.
Joule 104.
Juxtaposition 302, 525.

K.

Kalisalpeter 161, 187, 191, 498.
Kalium 51, 114, 180, 196, 198, 305, 389.
Kaliumbichromat 393.
Kaliumkarbonat 208.
Kaliumnitrat 150.
Kalorimeter 435.
Kaltblüter 468.
Kammern (des Herzens) 274, 378.
Kampf ums Dasein 570 ff.
Kaninchen 261 ff.
Kant 67, 461.
Kapillaren 276, 378, 379.
Karbolsäure 222.
Karbonate 208.
Kartoffel 527.
Kartoffelzucker 232.
Karyokinese 545.
Kasein 253.
Kathode 77, 191, 500.
Kationten 191.
Kaulquappe 6, 500.
Kausalität 30.
Kehlkopf 265, 267.
Keimblätter 388.
Keimbläschen 346.
Keimling 388, 495.
Keimzellen 551; s. a. Ei und Spermien.
Keimung 388, 450.
Kekulé 220, 222.
Keppler 29, 34, 51.
van Kempelen 293.
Keratine 258.
Kern s. Zellkern.
Kerneiweiße 252.
Kernkörperchen 296.
Kernspindel 538, 545.
Kernteilung 543 ff.
Ketone 206.
Ketosen 231.
Kette, galvanische 107.
Kiemen 366, 369, 374, 377, 384, 547, 575.
Kiemenbögen 575.
Kiemenhöhle 369, 370.
Kiemenlungen 370.
Kieselnadeln der Spongien 168.
Kieselsäure 305, 389.
Kieselsäurehydrat 154, 418.
Kinetische Energie 97, 435, 439, 443, 460, 463 ff., 490 ff.
Kittsubstanz 327.
Kjeldahl 251.
Klänge 93.
Klappenapparat des Herzens 275.
Klassifizierung 4, 5, 560.
Kleesalz 208.
Kleinlebewesen s. Mikroben.
Kletterfisch 370.
Kloake 368.
Knallgas 171.

Knoblauch 533.
Knochen 268, 306, 343, 368.
Knollen 533.
Knöllchenbakterien der Leguminosen 420, 446.
Knorpel 343, 528.
Knospen der Pflanzen 524 ff.
Knospung 532.
Koagulirte Eiweißkörper 251, 258.
Koch, Robert 417, 426.
Kochsalz s. Natriumchlorid.
Kohäsion 132.
Kohlendioxyd 82, 137, 138, 179, 192, 207, 384, 385, 390, Bildungswärme 435.
Kohlenhydrate 114, 213, 217, 229 ff., 273, 282, 382, 385, 434, 436.
Kohlenoxyd 180, 435.
Kohlensäure 192, 207, 305.
Kohlensaure Salze s. Karbonate.
Kohlenstoff 104, 114, 148, 179, 180, 181, 182, 197, 198, Asymmetrie 211.
Kohlenwasserstoffe 198, 200.
Kollagene 258, 259.
Kolloide 154.
Kolonie 312, 349, 583.
Kompasspflanzen 497.
Konchiolin 260.
Kondensation von Dämpfen und Gasen 135.
Konjugaten 535.
Konjugation 534 ff., 548.
Koniferen 424.
König, Königin (bei Ameisen, Bienen) 349, 546.
Konstanten 57. 70; 578.
Konstitutionsformeln 201.
Kontaktwirkung 453.
Kontraktile Substanz 298, 329, 333.
Kontraktile Vakuole 329.
Kontraktilität 271, 299, 329 ff., 469, 473.
Kontraktion s. Muskel.
Kontraktionswelle 503.
Kontur 297.
Konzentration einer Lösung 143, 149. 498 f.
Koordinatensystem 580.
Korallen 358.
Kornein 260.
Körper 68, 90.
Körperkapillaren 379.
Körperteile 262.
Kot 273, 415, 419, 438.
Kotyledonen 388, 401.
Kraft 30, 32, 97, 576.
Kraftmaschinen 445.
Krapp 224.
Kreatin 227.
Kreatinin 227.
Krebs, 369, 370, 377, 504, 529.
Kreisbewegung 92.
Kreislauf des Bluts 273, 277, 376 ff.
Kreislauf der Stoffe 407, 459, des Wassers 459.
Kreosot 223.
Kreuzbefruchtung 540, 543.
Kreuzbein 270.
Krith 176.
Kritische Temperatur 136.
Kröten 553.
Krypton 82.
Krystalle 4, 147.
Krystalloide 154.
Krystallwasser 150.
Kühne 448.
Kupfer 180, 305.
Kupferoxydammoniak 393.
Kymographion 587.

L.

Labia 267.
Lähmung 288.
Lakmuspapier 193, 195.
Laktalbumin 252.
Laktose 237.
Laktosin 238.
Lamarck 568.
Lampyris noctiluca 485.
Länge 54.
Lanolin 246.
Laplace 461.
Larix 235.
Larve 537, 546, 547, 548.
Larynx 265.
Lasseigne 249.
Lateralgeotropismus 496.
Laternen der Tiefseefische 485.
Laubmoose 499.
Lavoisier 81, 181, 183, 385.
Lebende Substanz 157; Entstehung 552.
Lebendes Eiweiß 434.
Lebendige Kraft 97.
Lebenskraft 576.
Lebenserscheinungen 10.
Leber 240, 265, 268, 273.
Lebewesen 1, 6, 261, 292; niedere und höhere 294.

Leguminosen 420, 424.
Leibeshöhle 267, 271, 341.
Leichenstarre 482.
Leim 154, 155, 167, 181, 182, 259.
Leimpeptone 260.
Leistungen 292, 430, 463 ff., 494.
Leitung der Erregung 496, 502; isolierte 502.
Leitungsvermögen, elektrisches 150, 188, 190.
Lemna triscula 395, 396.
Leontodon taraxacum 561.
Leuchten 484 ff.
Leuchtgas 130.
Leuchtkrebse 486.
Leuchtmoos 486.
Leuchtorgane 485 ff.
Leucin 225, 250, 259, 260.
Leuckart 12.
Leukocyten s. Blutkörperchen.
Licht 41, 106, 107, 392 ff., 457 ff., 487. 515; elektrisches 460; polarisiertes 210, 477; Erzeugung durch Lebewesen 484 ff.
Lichtempfindlichkeit 519.
Lichtempfindung 513.
Lichterscheinungen 87.
Lichtstrahl 72.
Lichtsinn 498.
Liebig 183, 412, 433, 453.
Lineargeschwindigkeit 92.
Lingua 267.
Linksweinsäure 211, 218.
Linné 560, 561.
Lippen 267.
Lithium 196, 198.
Loeb 497.
Loew 448.
Logische Fehler 19.
Lohblüte 339.
Löslichkeit 148 ff.
Lösungen 140, 145, 148, 150.
„ unechte 152.
Ludwig 587.
Luft s. Atmosphärische Luft.
Luftröhre 265, 267.
Luftsäcke der Vögel 368.
Lufthermometer 120.
Lufttrockenheit 157.
Luftwurzeln 497.
Lugol'sche Lösung 240.
Lungen 265, 283, 366, 374, 384, 547.
Lungenarterie 275, 379.
Lungenhautarterie der Frösche 330.
Lungenkapillaren 379.
Lungenschnecken 371.
Lungentiere 367, 378, 575.
Lycopodium 181.
Lymphe 281.
Lymphgefässe 281, 342, 379.

M.

Machilis maritima 372.
Macrobiotus Schultzei 310.
Madreporenplatte 475.
Magen 265, 268.
Magnesium 180, 198, 305, 389.
Magnesiumkarbonat 208.
Magnetismus 41.
Magnetnadel 107.
Malaria 427.
Maltose 236, 237, 240, 273, 451.
Malz 450, 465.
Malzzucker 237.
Mandelöl 218.
Mandelsäure 214.
Mangan 180.
Manna 235.
Mannose 233, 235.
Manometer 119, 124.
Manubrium sterni 268, 270.
Margarinsäure 207.
Mariotte's Gesetz 116, 135, 189.
Markscheide der Nervenfasern 505.
Maschinen 104, 321, 445.
Maß 52, 54; der Arbeit 95; des elektrischen Stroms 108; der Energie 94; der Wärme 103.
Maßeinheiten 54, 103.
Maßsystem, absolutes 54, 95.
Masse 54, 69, 70, 90, 92.
Massenbewegung 469.
Mastdarm 268.
Mastigamoeba aspera 331.
Mästung 407.
Materie 67, 90.
„ Teilbarkeit 71, 74.
„ Unveränderlichkeit 82.
Mathematik 41.
Mauerblatt 359.
Maultier u. Maulesel 564.
Mechanik 43, 91.
Mechanische Arbeit 435.
Mechanisches Wärmeäquivalent 104.
Mechanismen 293, 321.
Medianebene 263.

Medulla spinalis 267.
Medusen 350, 548.
Megaspore 537, 541.
Mehrbasische Säuren 208.
Melolontha 560.
Membran s. Zellmembran.
Membranen, halbdurchlässige 142.
Mensch 261.
Mephitis mesomelas 345.
Mercurialis perennis 342.
Mesenterium 265, 271.
Mesoderm 356.
Mesoweinsäure 211, 213.
Messende Versuche 52.
Metacarpus 270.
Metalle 190.
Metamorphose 546.
Metapektinsäure 243.
Methaphysische Fragen 16.
Metaphyten 318, 535, 574.
Meta-Stellung 322.
Metatarsus 270.
Metazoen 318, 490, 528, 530, 535, 574.
Meteorhypothese 558.
Methan 197, 199, 419, 423.
Methanderivate 219.
Methanreihe 200.
Methenyl 199.
Methyl 199.
Methylalkohol 203.
Methylamin 225.
Methyläthylketon 206.
Methylbenzol 221.
Methylchlorid 199.
Methylen 199.
Methylenchlorid 199.
Methyljodid 202.
Meyen 327.
Micellen 550.
Micrococcus ureae 420.
Mikroben, 362, 417 ff.
Mikrocalorie 104.
Mikronukleus s. Zellkern.
Mikrospore 537, 541.
Milch 113, 245, 253.
Milchdrüse 285.
Milchsäfte 245, 452.
Milchsäure 209, 234, 481.
Milchsäuregärung 234.
Milchzucker 234, 235, 236, 237.
Milne Edwards 12.
Mimosa pudica 501.
Mineralogie 4.
Mineralsäuren 195, 208, 254.
Mischung von Flüssigkeiten 139.
Mistel 427.
Mitose 545.
Mittelfuß 270.
Mittelhand 270.
v. Mohl 327.
Molarbewegung 90.
Molekeln 28, 76, 90, 201; organische 550.
Molekularbewegung 90, 99, 470.
Molekulare Energie 100.
Molekulargewicht 84, 143, 176, 185, 189.
„ der Gase 129.
Molekularzustand der Gase 122.
„ der Flüssigkeiten 132.
„ in Flüssigkeiten gelöster Stoffe 143.
Mollusken 181, 312.
Monaster 545.
Moneren 323.
Monochlormethan 199.
Monöcische Pflanzen 537, 541.
Monokotyledonen 388.
Monoplastiden s. Einzeller.
Monosaccharosen s. Saccharosen.
Monotremen 25, 38.
Morphin 228, 408.
Morphologie 6.
Motorische Felder der Hirnrinde 521,
Motorische Nerven 287, 288, 509; motor. Nervenzellen 510.
Mucine 154, 255.
Mucinoide 256.
Mucoide 256.
Mucor mucedo 424, 535 f., 541.
Müller, August 25.
„ Johannes 12.
Mund 271, 355.
Muscheln 306, 475.
Muskel 287, 334, 476 ff., 490 ff., 502; des Herzens 501.
Muskelbewegung 271, 287, 474 ff., 490 ff.
Muskelfasern 252, 334 ff., 474 ff., 476 ff.
Muskelfaserschlauch 477.
Muskelzelle 335.
Mutter-Individuum 534.
Mutterzelle 337, 474.
Mycelium 535.
Mykorrhiza 424, 446.
Myosin 254, 481, 482.
Myosinogen 252, 481, 482.
Myrianida fasciata 534.

Myricylalkohol 246.
Mysticismus 47.
Myxomyceten 339, 472, 532.

N.

Nährboden 417.
Nährstoffe 229.
Nährstofflösungen für Pflanzen 389, 416.
Nägeli 453, 550.
Nahrungsdotter 546.
Nahrungsmangel 569.
Nahrungsvakuolen 331, 365.
Namen 18, 22, 559 f.
Narbe 526; des Stempels 541.
Naphtalin 223, 227.
Nasengang 267.
Nasenhöhle 267.
Nasenmuschel 267.
Native Eiweißkörper 252.
Natrium 180, 189, 192, 198, 305, 389.
Natriumbikarbonat 208; Dissoziation 192.
Natriumchlorid 150, 189, 194, 498.
Natriumhydroxyd 198.
Natriumkarbonat, neutrales 208.
Natronkalk 182.
Natur 3.
Naturobjekte 1.
Naturphilosophie 47.
Naturwissenschaften 4 ff.
Nautilusauge 520.
Nebenkern s. Zellkern.
Negative Schwankung 484, 503.
Nektarien 346.
Nematoscelis rostrata 486.
Nepenthes 346.
Nephridien 359, 384.
Nerven 287, 492, 503.
Nervenfasern 287, 502, 503 ff.
Nervensystem 286, 467, 479, 503 ff., 511 ff.
Nervenzellen 504, 506.
Neon 82.
Nesselfäden 330.
Netzknorpel 343.
Neubildung organischer Stoffe in Pflanzen 390.
Neunauge 25.
Neurilemma 505.
Neurit 507.
Neuron 506.
Neutralfette s. Fette.
Neutrale Reaktion 195.
Newton 29, 34, 40, 47, 51, 60, 71.
Niederschlagen 152.
Niederschlagsmembranen 169, 297.
Nikotin 228, 403.
Nieren 265, 285.
Nitratbakterien 420.
Nitritbakterien 420.
Nitroglyzerin 491.
Nobili 464.
Noctiluca miliaris 485.
Nonosen 230.
Normaler Propylalkohol 204.
Nuklein 253, 257, 298, 325.
Nukleinbasen 257, 258.
Nukleoalbumine 251, 252.
Nukleoproteide 257.
Nukleolus s. Zellkern.
Nukleus s. Zellkern.
Nylander 232, 236.

O.

Oberarm 270.
Oberfläche, Beziehung zur Wärmeregulierung 464 ff.; zum Stoffwechsel 355.
Oberhaut 341.
Oberkiefer 267.
Oberschenkel 270.
Objekt 1, 3.
Ocellen 520.
Oele 218, 244.
Oelsäure 218, 246.
Oesophagus 268.
Oken 568.
Okulieren 527.
Olivenöl 218.
Ontogenie 546, 575.
Opalisieren 153.
Optik 43.
Oral 263.
Orchideen 424.
Orchis Morio 235.
Ordinate 580.
Ordnungen 5, 560.
Organe 114, 262, 290, 292, 317, 322, 326.
Organische Stoffe 181, 198. Neubildung in Pflanzen 390.
Organismen 293.
„ einfache 292.
„ höhere 322.
Ornithorhynchus 25.
Ortho-Stellung 222.
Ortsbewegung 271, 473.
Orts-Isomerie 222.

Osazone 232.
Oscillaria Froelichii 339.
Oscillaria princeps 339.
Os coxae 270.
Os ilei 270.
Os ischii 270.
Osmose 141, 160, der Kolloide 158.
Osmotischer Druck 143, 157, in Pflanzenzellen 161.
Os pubis 270.
Os sacrum 270.
Ossein 259, 270, 344.
Ovalbumin 252.
Oxalsäure 208, 402.
Oxybenzoësäure 222.
Oxybenzole 222.
Oxydation 104, 282, 385, 431 ff., intramolekulare 361.
Oxyfettsäuren 209.
Oxypropionsäure 211, 215.

P.

Paläontologie 552, 558, 573.
Palatum 267.
Palmitinsäure 207, 246.
Panachierung 396.
Pankreas 226, 273.
Paramilchsäure 211.
Paranukleine 258.
Paranukleus s. Zellkern.
Papaver somniferum 166, 245.
Paractis excavata 359.
Paraffine 200.
Paramaecium caudatum 329, 500, 530, 535, 538, 541, 548.
Parasiten 426 ff, 570.
Para-Stellung 222.
Parthenogenesis 546.
Partialdruck in Gasgemengen 128, von gelösten Stoffen 144, 163.
Pasteur 210, 214, 416, 449, 554.
Pathologie 10.
Pendel 52, 55, 95.
Pendeluhr 55, 112.
Pektinstoffe 236, 243.
Penicillium glaucum 214, 215, 425.
Pentan 200.
Pentosen 230, 236.
Peptone 251, 253, 254, 260, 273, 498 f.
Periplaneta orientalis 499.
Peritonaeum 271.
Perone 270.
Perpetuum mobile 97, 110.
Person 312, 349.
Petrographie 6.
Petromyzon Planeri 25.
Pfeffer 498.
Pferd 564.
Pflanzen 4, 12, 13, 160, 294, 423, 504, 533, 539, 540, 546, 553, 560.
„ Ernährung 388 ff., 415 ff.
„ Wachstum 51, 524.
Pflanzenfresser 407.
Pflanzenzellen 160, 325 ff, 559.
Pfropfen 527.
Pharynx 267.
Phenanthren 223.
Phenol 222.
Phenylamin 225.
Phenylglykosazon 232.
Phenylhydrazin 232.
Phosphor 114, 180, 198, 389, 402.
Phosphorescieren 488.
Phosphorpentachlorid 189.
Phosphorsäure 51, 208, 305, 498.
Phylogenie 575.
Phototaxis 497, 519.
Phototropismus 497.
Physik 7, 43, 78.
Physikalische Chemie 79.
Physikalische Vorgänge 76, 113.
Physische Vorgänge 16.
Physiologie, allgemeine und spezielle 12, 318.
„ vergleichende 12, 261.
„ Begriffsbestimmung 1, 8.
„ Verhältnis zur Physik u. Chemie 8, 9.
Physiologische Chemie 15, 193 ff.
Pictet, Raoul 311.
Pigmentflecke 519.
Pilze 389, 424, 498, 553.
Pisa 52.
Planaria 358, 384.
Plasma s. Blut.
Plasmodien 339, 427, 499.
Plasmolyse 162.
Plastische Stoffe 434.
Platin 107.
Pneumatisches Feuerzeug 102.
Poikilotherme Tiere 466.
Polarisationsebene 210.
Polarisiertes Licht 73, 210, 477.
Polarität 528.
Poli'sche Blasen 368.
Polkörperchen 545.

Pollen 541.
Polypen 350.
Polysaccharide 230, 238 ff., 449.
Polyplastiden s. Vielzeller.
Polzelle 544.
Potentielle Energie 97, 111.
Propan 200, 202.
Prophezeiung 23.
Propionsäure 206, 225.
Propylaldehyd 206.
Propylalkohol 203.
Proteïnstoffe 114, 213, 217, 228, 229, 248 ff., 250, 255, 273, 282, 382, 385, 387, 401, 436 ff., 449.
„ genuine oder native 252, 434.
Proteolytische Enzyme 449, 452.
Proteus anguineus 371.
Prothallium 548.
Protisten 13, 318, 534, 560.
Protophyten 318.
Protoplasma 160, 296, 328, 433, 490, 528.
Protoplasmabewegung 298 ff., 470 ff.
Protoplasmabrücken 501.
Protoplasmafortsatz 506.
Protozoen 318, 504.
Proximal 263.
Pseudonukleine 258.
Pseudopodien 299, 329.
Psychische Vorgänge 16, 289, 464, 522.
Psychologie 16, 522.
Pulmones 265.
Pulsieren 330.
Puppe 547.
Purpurin 224.
Pyämie 426.
Pyridin 227.
Pyrogallol 222.
Pyrogallussäure 222.
Pyrophorus 485.
Pyrosomen 485.

Q.

Qualitative Versuche 61, Analyse 182.
Quantitative Versuche 61, Analyse 183.
Quarz 113.
Quecksilber 305.
Quecksilberdruck 124.
Quecksilberkapillarelektrometer 483.
Quecksilberoxyd 189.
Quellung 145, 154.
Quercitrin 236.
Quercus 560.
Querder 25.

R.

Radikal 199.
Radiolarien 472, 485.
Radius 270.
Raffinose 238.
Ramsay 82.
Ranken der Erdbeeren 533.
Ranvier'sche Schnürringe 505.
Rassen 5, 564, 567, 585.
Rationelle Formeln 202.
Rationelle Gesetze 61.
Raum 90, 92.
Raupe 546.
Rayleigh, Lord 82.
Reaktion, chemische 193, 195.
Rechtsweinsäure 211, 213.
Rectum 268.
Reduktion der Gasvolume auf 0^0 und Normaldruck 121.
Reflexe 289, 511.
Regeln 26, 35.
Regeneration 527 ff.; durchschnittener Nerven 508.
Registrierverfahren 585.
Reiche 5, 560.
Reifung des Eis 543.
Reinkulturen 417.
Reiz 111, 287, 300, 490, 495; innere 489; formative 525.
Reizbarkeit 287, 300, s. a. Erregbarkeit.
Reizleitung 501.
Reizung 489 ff.
Renes 265.
Reptilien 312, 367, 529.
Reservestoffbehälter 238, 450.
Reservestoffe 388, 401, 450, 538, 546.
Resorption 273, 280, 404, 437, 449.
Respiration s. Atmung.
Respiratorische Stoffe 434.
Restgruppen 199.
Rhamnose 236.
Rheotropismus 499.
Rhizobium Leguminosarum 420.
Rhizoide 325.
Rhizome 527, 533.
Rhizomknollen 451, 533.
Rhizopoden 472.
Richtung einer Bewegung 91, 92.
Rind 562.

Ringelwürmer 533.
Rippen 265, 268.
Rippenquallen 473, 503.
Röhrenförmige Drüsen 347.
Robin 562.
Robinia pseudacacia 562.
Rohrzucker 162, 236, 499.
Rotierende Bewegung 92, 471.
Rübenzucker 236.
Rückenmark 267, 505.
Rückschlag 565, 566.
Ruderplatten 473, 503.
Rudimentäre Organe 576.
Rudolphi 12.
Ruhe d. Muskeln u. Nerven 479, 490.
Rumford 439.

S.

Sacculina carcini 427.
Saccharokolloide 238.
Saccharomyces 233, 361, 425, 452.
Saccharosen 230, 236ff., 449.
Saccharum officinarum 236.
Saftbewegung in Pflanzen 469.
Saison-Dimorphismus 565.
Salepwurzel 235.
Salicylsäure 222.
Salpeter, s. Kali- und Natronsalpeter.
Salzbildner 196.
Salze 195, 278, 382, 385.
Samen 6, 309, 310, 388, 450, 541, 564.
Samenfäden, s. Spermien.
Samenschale 388.
Sand 71.
Santonin 403.
Saprophyten 424, 426.
Sarkolemma 477.
Sarracenien 346.
Sättigung von Lösungen 149, chemischer Verbindungen 218.
Sauerklee 208.
Sauerstoff 78, 82, 104, 107, 113, 115, 127, 171, 176, 179, 180, 181, 189, 197, 198, 281, 302.
„ Ausgabe durch Pflanzen 391.
Sauerstoffbedürfnis 362; s. a. Atmung.
Sauerwerden der Muskeln bei der Thätigkeit und beim Absterben 481.
Säugetiere 24, 38, 261, 378, 566.
Säureanhydride 216.
Säureäther 216.
Säuren 195, 498.
„ mehrbasische 208.
Scapula 270.
Schädel 267.
Schädelhöhle 267.
Schallempfindung 513.
Schallerscheinungen 86, 99, 515.
Schambein 270.
Schaumstruktur 168.
Scheele 210.
Scheinfüße, s. Pseudopodien.
Scheintod 308, 310, 327.
Schematische Apparate 62.
Schienbein 270.
Schimmelpilze 240, 424.
Schistostega osmundacea 486.
Schizomyceten, s. Spaltpilze.
Schizophyceen s. Spaltalgen.
Schlammpeitzker 374.
Schlangen 268, 553.
Schlauchpilze 214, 417.
Schleiden 327.
Schleifenkanäle 384.
Schleimbecher 256.
Schleimhaut 272.
Schleimpilze 240.
Schleimstoffe 255.
Schließzellen 398.
Schlund 331.
Schlundkopf 267.
Schluss 23,
Schlüsselbein 270.
Schmarotzer 426.
Schmetterlinge 546, 565.
Schnecken 256, 553.
Schneidezahn 267.
Schulterblatt 270.
Schultergürtel 270.
Schulversuche 49.
Schulze, F. E. 306.
Schwämme 357.
Schwammparenchym 341.
Schwann 327.
Schwann'sche Scheide 505.
Schwärmsporen 332, 339, 497, 532, 541.
Schwefel 76, 114, 179, 180, 197, 389.
Schwefelbakterien 361, 419.
Schwefeldichlorid 197.
Schwefeleisen s. Eisensulfid.
Schwefelsäure 208, 305.
Schwefelwasserstoff 197, 419.
Schweiß 285.
Schweißdrüsen 285.
Schweizer's Reagens 242.
Schwere 68, 496.

Schwerpunkt 90.
Schwimmblase 375.
Schwimmvogel 558.
Schwingung 91, 93, 99, 586.
„ des Äthers 87, 106.
„ regelmäßige und unregelmäßige 93.
Schwingungsamplitude 93, 586.
Schwingungsdauer 93.
Seelenvorgänge s. psychische Vorg.
Seepflanzen 180.
Seesterne 475.
Seewalzen 485.
Seifen 207, 217, 449.
Seifenblasen 74, 138.
Seitenketten 218.
Seitenknospen 524.
Seitenorgane der Fische 519.
Sekundärer Propylalkohol 204.
Sekunde 54.
Sekrete 272, 285, 345.
Sekretorische Nerven 287, 509.
Selaginella lepidophylla 310.
Selbstbefruchtung 540.
Selkirk 562.
Sensible Nerven 288, 509.
Sensorische Nerven 288.
Septichämie 426.
Sericin 260.
Serumalbumin 252.
Serumglobulin 252.
Sieden 133.
Siedepunkt 135, 151, 188.
Silber 49, 196, 198.
Silberacetat 187.
Silberchlorid 457.
Silicium 114, 180, 198.
Sinne 518.
Sinneseindrücke 67.
Sinnesnerven 288.
Sinnesorgane 1, 92, 505, 517.
Sinnestäuschungen 516,
Sinneszellen 506.
Sinnpflanze 501.
Siphonophoren 351.
Sirenen 268.
Sitzbein 270.
Skatol 250.
Skelett 268, 270.
Skelettine 258, 260.
Soldaten 349.
Sonnenstäubchen 555.
Sonnenstrahlen 392ff., 457ff.
Sonnensystem 462.
Sonnentau 346.
Spaltalgen 314.
Spaltöffnungen 398.
Spaltpilze 214, 215, 309, 311, 314, 394, 416, 452, 499, 553, 554.
Spaltung 202, 217; s. a. Hydrolyse.
Spannkraft 97.
Species s. Arten.
Speiche 270.
Speichel 273.
Speicheldrüsen 273.
Speisen 271.
Speiseröhre 268.
Spektrum 256, 394.
Spencer, Herbert 518, 572.
Spermien 332, 499, 532, 539, 544, 548.
Spermatosomen s. Spermien.
Spermatozoen s. „
Spermazelle s. „
Spezificität der Enzyme 451.
Spezifische Energie 514.
Spezifisches Gewicht 85; der Gase 175.
Spezifische Reize 513.
Spielart 565.
Spindel s. Kernspindel.
Spirogyra 535.
Spongien 357.
Spongin 260.
Sporangium 535.
Sporen 309, 332, 339, 531f., 534, 535, 548.
Sprichwörter 26.
Sprosspilze 309, 416, 532.
Sprossung 531.
Stamm-Individuum 534.
Stände 349.
Stärke 237, 238, 399, 449, 451.
Stärkecellulose 239.
Stärkekörner 238, 399.
Stärkezucker 232.
Statistik der Variationen 566, 583.
Status nascendi 190.
Staubfäden 541.
Stammbaum 561, 573.
Stammesgeschichte 575.
Steapsin 247, 452.
Stearinsäure 207, 218, 245.
Steckling 389, 527.
Steinkanal 476.
Steinnuss-Samen 235.
Stellungs-Isomerie 222.
Stempel 541.

Stentor polymorphus 528, 531.
Stephenson 460.
Stephalia corona 351.
Stereoisomerie 213.
Stereotaxis 499.
Stereotropismus 499.
Sterilisieren 555.
Sternum 264, 268.
St. Hilaire, Geoffroy 38.
Stickstoff 51, 82, 113, 114, 127, 176, 180, 181, 182, 189, 197, 224 ff., 248 ff., 389.
Stickstoffbestimmung 251.
Stickstofffreie u. stickstoffhaltige Stoffe 181, 229, 387, 433.
Stickstoffprobe 249.
Stickstofftrichlorid 197.
Stimmgabel 93, 99, 586.
Stinktier 345.
Stöchiometrie 186.
Stock s. Tierstock.
Stoffwechsel 283, 302, 353, 385, 406.
„ respiratorischer 386.
Stoffwechselgleichgewicht 386, 437.
Stoffe 68.
„ unwägbare, s. Imponderabilien.
Strahlung der Wärme 58.
Strom, elektrischer 107, 483, 503.
Stromstärke 108.
Strudelwürmer 358.
Struktur 6, 145; der Molekeln 301.
Strychnin 214, 228, 403.
Subjektive Empfindungen 516.
Substanzen 68.
Substitution 194, 202; doppelte 194.
Sumpfgas 419.
Sycon 357.
Syllogismus 37.
Symbiose 412.
Sympathicus 265, 505.
Syncytium 339.
Synthese 202, 217.
Syntonin 254.
System 4.
„ künstliche und natürliche 5, 294.

T.

Talgdrüsen 285.
Tannin 169.
Tapetum 485.
Taraxacum officinale 561.
Tardigraden 310.
Tarsus 270.
Tautologie 42.
Taxis 495.
Teichmann'sche Krystalle 257.
Teilbarkeit der Materie 71, 74.
Teilung 306, 528, 530, 545.
Temperatur 55, 58, 99, 106.
Beziehungen zum Volum 99, 117, 132.
Einfluss auf zymotische Vorgänge 454.
Grenzen, bei denen Leben besteht 311.
kritische 186.
Temperaturskala, Ceesius'sche 119.
„ , absolute 121.
Tentakeln 346, 500, 528.
Tetanus 479.
Tetrachlorkohlenstoff 199.
Tetrosen 230.
Teufelszwirn 427.
Thätigkeit der Muskeln und Nerven 479, 490.
Theorien 35, 38.
Thermodynamische Maschinen 104.
Thermometer 55; Luftthermometer 120.
Thermotaxis 499.
Thermotropismus 499.
Thermosäule 464.
Thonerdehydrat 154.
Thorax 268.
Thymus 268.
Tibia 270.
Tiere 4, 12, 13, 423, 560.
Tierstaaten 349.
Tierstock 349, 533.
Tintenfische 520.
Tochter-Individuum 534.
Tochterzelle 337.
Tod 307.
Toluol 221.
Töne 86, 93, 99.
Torricelli 40.
Totenstarre 254. 482.
Trachea 265, 283.
Tracheaten 371.
Tracheen 366, 371.
Tracheenkiemen 366, 372.
Tracheenlungen 366, 373.
Tradescantia discolor 162; *virginica* 328, 340, 371.
Traganth 167.
Transpiration 398.
Transplantation 528.
Traubenförmige Drüsen 347.
Traubensäure 210.
Traubensaures Natrium-Ammonium 210, 214.

Traubenzucker 181, 188, 191, 231, 498.
Tributyrin 246.
Tricapronin 246.
Tricaprylin 246.
Trichlormethan 199.
Trimethylamin 225.
Triolein 246.
Trioxybenzol 222.
Triosen 230.
Tripalmitin 246.
Tristearin 246.
Trommer 232, 236.
Tropismus 495.
Trüffel 240, 424.
Truncus arteriosus 380.
Tuberkulose 426.
Tubulöse Drüsen 347.
Tunicaten 241, 370.
Tüpfel 327.
Turbellarien 358.
Turgor 162, 168, 399, 469, 501.
Typen chemischer Verbindungen 194.
Tyrosin 225, 250, 259, 260.

U.

Überleben der Geeignetsten 572.
Überleben der Organe 319, 527.
Übertragung einer Erregung 502, 511.
Uhr 53, 55, 98, 112.
Umwandlung von Energie 95, 104, 437.
Undulationstheorie 36, 40, 43.
Unechte Lösungen 152.
Ungesättigte Lösungen 149; Verbindungen 218.
Ungeschlechtliche Fortpflanzung 534.
Ungleichförmige Geschwindigkeit 91.
Unterkiefer 267.
Unteilbarkeit 313.
Unterschenkel 270.
Unveränderlichkeit der Masse 81; der Energie 109; der Stoffe 82, 409.
Unwillkürliche Bewegung 289, 521.
Ureter 265.
Urogenitalsystem 540.
Ursache 30, 33.
Ursprung des Lebens 552 ff.
Urteile 18.
Urtica dioica 345.
Urvogel 573.
Urzeugung 554 ff.

V.

Vakuolen 161, 296, 328; kontraktile 329.
Valenz 198.
Vanillin 223.
Variable Größen 51, 57, 578.
Variabilität 561, 563 ff., 568, 579, 583.
Variationsstatistik 566, 583.
Varrentrapp 251.
Vaucanson 293.
Vauquelin 226.
Vegetationspunkt 451, 524, 525.
Vegetationsversuche 51.
Veilchen, gelbe 181, 305.
Vena cava ascendens 265, 277; descendens 277.
Venen 378.
Ventilation 429.
Ventral 263.
Ventriculus 265.
Ventrikel 378.
Venus (Planet) 48.
Venusfliegenfalle 346.
Verbindung, chemische 77, 80, 113, 114, 170, 192.
Verbreitung der Stoffe 428.
Verbrennung s. Oxydation.
„ in Lebewesen 105.
Verbrennungswärme 104, 435 ff., 444.
der Nahrungsstoffe 436, physiologische der Proteinstoffe 437.
Verdauung 254, 273, 301, 344, 403, 437, 449, 451.
„ , intra- u. extracellul. 434.
Verdünnte Lösungen 149, 151.
Verdunstung 133, 390.
Veredelung 527.
Vererbung 548, 550, 568, 572, 575; erworbener Eigenschaften 548.
Vergleichende Anatomie 6.
„ Physiologie 261.
Verhungern 411.
Verjüngung 542.
Vermehrung s. Fortpflanzung.
Vermoderung 422.
Vermutung 27.
Verrotten des Düngers 420.
Verseifung 247, 273.
Versuche 48; qualitative u. quantitative 61; an lebenden Tieren 63.
Verwandtschaft, chemische 104, 195, 437.
zwischen Lebewesen 561 ff.
Verwesung 422.
Verworn 325, 500.
Verzögerte Geschwindigkeit 91.
Vesica fellea 268.

Vesica urinaria 265.
Vibrionen 215.
Vielzeller 318, 523.
Villi 280.
Viola lutea 305, 389.
Virtuelle Energie 97.
Viscum album 427.
Vita minima 309.
Vivisektion 65.
Vögel 368, 378, 566.
Vogelnester 305.
Voltameter 171.
Volum 69, 75; der Gase 115 ff.
Volumänderungen 99.
Volumverhältnisse bei Verbindungen von Gasen 174.
Volvox globator 315, 350, 539.
Voraussage 23.
Vorgänge 1, 6, 7, 49, 76.
Vorkammern 378.
Vorrichtungen 62.
Vorstellungen 3, 22.
Vorticellen 332, 334, 531, 537, 541.
DE VRIES 162.

W.

Waage 69.
Wabenstruktur 168.
Wachs 246.
Wachstum 51, 281, 301, 469, 495, 523 ff.
Wadenbein 270.
Wahrheit 26, 29.
Wahrnehmungen 2, 47.
Wahrscheinlichkeit 26, 29.
Wahrscheinlicher Fehler 56, 566.
Walrat 246.
Waltiere 268.
Warmblütige Tiere s. Homoiotherme.
Wärme 58, 99, 100, 122, 282, 435, strahlende 107.
Wärmeabgabe 57, 435, 464, 465.
Wärmeempfindung 107, 518.
Wärmeerzeugung durch elektrische Ströme 107.
durch mechanische Arbeit 102, 104.
durch Oxydation 282.
durch Organismen 282, 435, 463 ff., 491, 494.
im Muskel 480.
Wärmeleitung in festen Körpern 146.
Wärmemaß 103.
Wärmemenge 103.
Wärmeregulierung 466 ff.
Wärmestarre 300.
Wärmestoff 103.
Wasser 51, 69, 73, 77, 103, 148, 193, 195, 273, 302, 382, 384, 385.
als Verbreiter der Stoffe 429.
Bildungswärme 435; Kreislauf 459.
Wärmetönung 443 ff., 458.
Wasserbewegung in Pflanzen 398.
Wasserdampf 73.
Wasserdruck 124.
Wasserentziehung 309.
Wassergefäße 384.
Wasserkultur 389.
Wasserlinse 395.
Wasserlungen 368, 384.
Wasserstoff 78, 104, 106, 115, 130, 138, 171, 176, 180, 181, 189, 193, 198, 302, 423.
Wasserstoffsuperoxyd 435.
Wasserstrudel 441.
WEBER's Gesetz 493, 499.
Wechselkreuzung 540.
Weg 91.
Weiblicher Keim 537, 541.
Weichteile 268.
Weinsäure 209.
Weinstein 210.
Weinstock 389.
Welken 163, 399.
Wellenschreiber 587.
Welt 3.
Welt im Glase 412.
Weltkörper, Entstehung der 461.
Wertigkeit 198.
Wildling 527.
WILL 251.
Wille 30, 288, 289, 513, 520.
Willkürliche Bewegung 288, 289, 521.
Wimpern 331, 473.
Wimperplatten 473, 503.
Wind 429, 459, 539, 541, 555, 565.
Windbüchse 101, 112.
Winkelgeschwindigkeit 92.
Wintereier 546.
Winterschlaf 312.
Wirbel 266.
Wirbelkanal 266.
Wirbellose Tiere 504.
Wirbelsäule 266, 268.
Wirbeltiere 266, 376, 504 f., 575.
Wirkung 33, 94.
WOEHLER 226.
WOLFF, C. F. 549.

Wollfett 246.
Wundfieber 426.
Würmer 529, 547.
Wurzeln 388, 390, 497, 498, 499, 527.
Wurzeldruck 398, 469.

X.

Xanthin 257.
Xanthinbasen 227, 257.
Xanthophyll 392.
Xanthoramnin 236.
Xylol 221.
Xylose 236.

Z.

Zähigkeit 153.
Zeit 54, 91, 92.
Zeiteinheit 54, 91.
Zehen 270.
Zelle 13, 114, 160, 163, 253, 290, 317, 319, 545, 574.
„ künstliche 169.
Zellaggregate 340.
Zellfaden 340.
Zellformen 167.
Zellgemeinschaften 337.
Zellhaut s. Zellmembran.
Zellkern 160, 253, 295, 297, 323, 528, 530, 538, 544, 545, 548.
Zellmembran 160, 241, 326.
Zellorgane 326ff., 519, 550.
Zellsaft 160.
Zerlegung zusammengesetzter Stoffe 77.
Zersetzung 193.
Ziegen 562.
Zink 107, 180, 305, 389.
Zirkulationsbewegung 471.
Zoologie 4, 323, 337.
Zoosporen 539.
Zotten 280.
Zuchtwahl 568.
Zucker 73, 74, 230ff.
Zuckerrohr 236.
Zuckerrübe 236.
Zuckung 479.
Zunge 267.
Zusammengesetzte Stoffe 77, 79.
Zusammenhang d. Erscheinungen 33, 49.
Zusammenheilen 528.
Zweckmäßigkeit 575.
Zweihäusige Pflanzen 527, 541.
Zwerchfell 263, 264.
Zwiebeln 451, 527, 533.
Zwitterbildung 540.
Zygospore 535f.
Zymotische Vorgänge s. Enzyme.

LIBRARY
UNIVERSITY
CALIFORNIA

Druckfehler:

Seite 28 Zeile 4 und 3 von unten statt Komplexe Größen lies: Komplexe von Größen.

Seite 41 Zeile 5 von oben das Wort Doppelbrechung ist zu streichen.

Seite 55 Zeile 8 von oben statt Winkelhebel lies: Fühlhebel.

Seite 91 Zeile 18 von unten statt $0 =$ lies: $= O$.

Seite 95 letzte Zeile statt 100000 oder 10^6 gcm lies: 100000 oder 10^5 gcm.

Seite 137 Zeile 18 von unten statt Schwefelwasserstoff lies: Schwefelwasserstoff.

Seite 153 in der Anmerkung sind die Worte von „oder Kohäsion bis haften" zu streichen.

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE STAMPED BELOW

AN INITIAL FINE OF 25 CENTS

WILL BE ASSESSED FOR FAILURE TO RETURN THIS BOOK ON THE DATE DUE. THE PENALTY WILL INCREASE TO 50 CENTS ON THE FOURTH DAY AND TO $1.00 ON THE SEVENTH DAY OVERDUE.

Biology Library

LD 21–95m-7,'37